

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月21日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-081183

出 願 人

Applicant(s):

日本電気株式会社

2001年11月 2日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造

出証番号 出証特2001-3097529

【書類名】 特許願

【整理番号】 47500420

【提出日】 平成13年 3月21日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/10

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

 【氏名】 神戸 俊之

【特許出願人】

 【識別番号】 000004237

 【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100071526

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 平田 忠雄

【先の出願に基づく優先権主張】

 【出願番号】 特願2000-391385

 【出願日】 平成12年12月22日

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 038070

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9715180

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 導波路型光制御デバイスおよびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 本の光導波路の両外側および前記 2 本の光導波路の間に形成された電極を有する第一の電極部が近接配置された位相シフト器と、前記 2 本の光導波路に連結された光導波路を部分的に近接平行させて構成されると共に、前記位相シフト器の入力側に設けられる光分岐部または出力側に設けられる光結合部の少なくとも一方に用いられる方向性結合器とを備え、前記位相シフト器の前記両外側の電極と前記導波路の間に形成された前記電極との間に印加された電圧に応じて前記 2 本の光導波路の屈折率を変化させる導波路型光制御デバイスであって、

前記方向性結合器内の前記 2 本の光導波路の両外側および前記光導波路の間に設けられた電極を有し、これらの電極が前記 2 本の光導波路の長手方向に隣接する前記第一の電極部の各電極に電氣的に接続されると共に、前記第一の電極部に印加された電圧が印加される第二の電極部を備えることを特徴とする導波路型光制御デバイス。

【請求項 2】 前記第二の電極部は、前記第一の電極部の各電極を延伸させることにより形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 3】 前記第二の電極部は、前記両外側の電極を非対象形にしたことを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 4】 前記第二の電極部は、前記位相シフト器との境界付近にのみ介在していることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 5】 前記第一の電極部および前記第二の電極部は、前記 2 本の光導波路の中心線に対して所定のオフセットが施されていることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 6】 前記第二の電極部の前記両外側の電極は、所定間隔に配列された複数の電極片を備えて構成され、その相互間がヒューズまたはボンディングワイヤで接続されていることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイ

ス。

【請求項 7】 前記第二の電極部の前記光導波路間の前記電極は、前記 2 本の光導波路の一方に対し、一部分または全部が厚み方向に重なりを持つことを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 8】 前記第二の電極部は、バッファ層を介して前記 2 本の光導波路が設けられている基板の表面に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 9】 前記第二の電極部の各電極は、前記 2 本の光導波路に対してほぼ同一平面上に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 10】 前記第二の電極部の各電極は、前記 2 本の光導波路が設けられている基板の表面に形成された凹部内に設けられていることを特徴とする請求項 9 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 11】 前記第二の電極部は、前記 2 本の光導波路が設けられている基板の裏面に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 12】 前記方向性結合器は、前記光分岐部および前記光結合部のそれぞれに設けられ、共に前記第二の電極部が設けられていることを特徴とする請求項 1, 2, 3, 4, 5, 8 または 11 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 13】 2 本の光導波路と、該 2 本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、

前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、

前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、

前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも 1 の電極、および前記

第三の電極が前記第一の方向性結合器または前記第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸されていることを特徴とする導波路型光制御デバイス。

【請求項 1 4】 2 本の光導波路と、該 2 本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、

前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、

前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも 1 の電極、および前記第三の電極が前記第一の方向性結合器の一部分または全部にまでそれぞれ延伸され、前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも 1 の電極、および前記第三の電極が前記第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸されていることを特徴とする導波路型光制御デバイス。

【請求項 1 5】 2 本の光導波路と、該 2 本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、

前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、

前記第一の方向性結合器は、方向性結合部の 2 本の光導波路の両外側の近傍に配置された第一の方向性結合部外側電極と、前記方向性結合部の 2 本の光導波路の間に配置される第一の方向性結合部中間電極とを備え、前記第一の電極および前記第二の電極が前記第一の方向性結合部外側電極に電氣的に接続され、前記第三の電極が前記第一の方向性結合部中間電極に電氣的に接続されていることを特徴とする導波路型光制御デバイス。

【請求項 1 6】 前記第一の方向性結合部外側電極および前記第一の方向性結合部中間電極は、前記方向性結合部を構成する光導波路の一部分に対して電圧印加により電界を生じさせることを特徴とする請求項 1 5 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 1 7】 2 本の光導波路と、該 2 本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、

前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、

前記第二の方向性結合器は、方向性結合部の 2 本の光導波路の両外側の近傍に配置された第二の方向性結合部外側電極と、方向性結合部の 2 本の光導波路の間に配置される第二の方向性結合部中間電極とを備え、

前記第一の電極および前記第二の電極が前記第二の方向性結合部外側電極に電氣的に接続され、前記第三の電極が前記第二の方向性結合部中間電極に電氣的に接続されていることを特徴とする導波路型光制御デバイス。

【請求項 1 8】 前記第二の方向性結合部外側電極および前記第二の方向性結合部中間電極は、前記方向性結合部を構成する光導波路の一部分に対して電圧印加により電界を生じさせることを特徴とする請求項 1 7 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 1 9】 前記第一の方向性結合部中間電極は、前記方向性結合部を構成する 2 本の光導波路の中心線に対してオフセットされていることを特徴とする請求項 1 5 または 1 6 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 2 0】 前記第二の方向性結合部中間電極は、前記方向性結合部を構成する 2 本の光導波路の中心線に対してオフセットされていることを特徴とする請求項 1 7 または請求項 1 8 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 2 1】 2 本の光導波路の両外側および前記 2 本の光導波路の間に

形成された電極を有する第一の電極部が近接配置された位相シフト器と、前記2本の光導波路に連結された光導波路を部分的に近接平行させて構成されると共に、前記位相シフト器の入力側に設けられる光分岐部または出力側に設けられる光結合部の少なくとも一方に用いられる方向性結合器とを備え、前記位相シフト器の前記両外側の電極と前記導波路の間に形成された前記電極との間に印加された電圧に応じて前記2本の光導波路の屈折率を変化させることにより通過光の減衰量を制御する可変光減衰器において、

前記方向性結合器内の前記2本の光導波路の両外側および前記光導波路の間に設けられた電極を有し、これらの電極が前記2本の光導波路の長手方向に隣接する前記第一の電極部の各電極に電氣的に接続されると共に、前記第一の電極部に印加された電圧が印加される第二の電極部を備えることを特徴とする可変光減衰器。

【請求項22】 1または互いに異なる波長の複数の信号光を含む波長多重信号光が入力され、該波長多重信号光を分波して分波信号光をそれぞれ出力する光合波器と、

前記分波信号光に選択的に所定の減衰量の光減衰をさせ、減衰信号光を出力する請求項21記載の可変光減衰器と、

前記可変光減衰器による前記減衰信号光を合波する光合波器と、
を備えていることを特徴とする光イコライザ装置。

【請求項23】 前記減衰信号光の光レベルが均一になるように前記可変光減衰器を制御する減衰量制御回路を備えることを特徴とする請求項22記載の光イコライザ装置。

【請求項24】 前記各減衰信号光の光レベルが予め定められたレベル差になるように前記可変光減衰器を制御する減衰量制御回路を備えることを特徴とする請求項22記載の光イコライザ装置。

【請求項25】 1または互いに異なる波長の複数の信号光を含む波長多重信号光が入力され、該波長多重信号光を分波して分波信号光をそれぞれ出力する光分波器と、

前記分波信号光から選択的に所定の波長の信号光を分離する波長可変フィルタ

と、

前記波長可変フィルタを通過した前記分波信号光に選択的に所定の減衰量の光減衰をさせ、減衰信号光を出力する請求項 2 1 記載の可変光減衰器と、

前記可変光減衰器からの前記減衰信号光または外部からの挿入信号光のいずれかを選択して出力するフィルタと、

前記フィルタから出力される前記減衰信号光または前記挿入信号光を合波する光合波器とを備えていることを特徴とする光挿入分離装置。

【請求項 2 6】 前記各減衰信号光および各挿入信号光の光レベルが均一になるように前記可変光減衰器を制御する減衰量制御回路を備えることを特徴とする請求項 2 5 記載の光挿入分離装置。

【請求項 2 7】 前記各減衰信号光および各挿入信号光の光レベルが予め定められたレベル差になるように前記可変光減衰器を制御する減衰量制御回路を備えていることを特徴とする請求項 2 5 記載の光挿入分離装置。

【請求項 2 8】 2 本の光導波路と、該 2 本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、

前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、

前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力される信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、

前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも 1 の電極、および前記第三の電極が前記第一の方向性結合器または前記第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸し、かつ前記第三の電極から延伸した電極部分が前記 2 本の光導波路の一方に対して縦方向の電界を付与しうるように形成されていることを特徴とする導波路型光制御デバイス。

【請求項 2 9】 前記第三の電極から延伸した電極部分は、前記 2 本の光導波路の一方に重なりが生じるようにして、該一方の光導波路の上面又は裏面に配

置されていることを特徴とする請求項 2 8 記載の導波路型光制御デバイス。

【請求項 3 0】 基板内に位相シフト器および少なくとも 1 の方向性結合器が構成されるように 2 本の光導波路を形成し、

前記位相シフト器から前記方向性結合器の一部に及ぶように第一の電極および第二の電極を前記 2 本の光導波路の両外側に形成すると共に、前記位相シフト器から前記方向性結合器の一部に及ぶように第三の電極を前記 2 本の光導波路の間に形成し、同時に、前記第二および第三の電極の端部に複数の独立した電極片を所定間隔に形成しまたはヒューズで縦続接続された状態に複数の電極片を所定間隔に形成し、

前記方向性結合器の特性が所望の値になるように、前記複数の独立した電極片の必要数を内側からボンディングワイヤで順次接続し、または縦続接続された前記複数の電極片の前記ヒューズを外側から順次溶断することを特徴とする導波路型光制御デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、導波路型光制御デバイスおよびその製造方法に関し、特に、方向性結合器型マッハツェンダ構成にあって、その構成を複雑にすることなく最小減衰量と最大減衰量の比（消光比）を改善することが可能な導波路型光制御デバイスおよびその製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

導波路型光制御デバイスは、集積化および低消費電力化に適していることから、光スイッチや光変調器への利用が検討されている。また、近年、高密度波長分割多重伝送（Dense Wavelength Devision Multiplexing：DWDM）の普及に伴い、波長多重時における各波長の光パワーを揃えるための手段、或いは、伝送路において任意の波長を選択して挿抜する光ADM（Add Drop Multiplexer：多重分離装置）の光部品として、可変光減衰器の必要性が高まってきている。その中でも、小型化、低電圧化および低消費電力化に有利な LiNbO_3 （ニオブ酸リ

チウム：LN）基板上に、2つの方向性結合器を設け、その間に位相シフタを形成した方向性結合器型マッハツェンダ（Mach-Zehnder：MZ）構成の可変光減衰器が実用化されつつある。

【0003】

図14は、方向性結合器型マッハツェンダによる従来の導波路型光制御デバイスの構成を示す。ここでは、導波路型光制御デバイスとして、可変光減衰器を例示している。

方向性結合器型マッハツェンダによる可変光減衰器は、不図示のLN基板上に平行状態に形成された光導波路1a、1b、光導波路1a、1b内に設けられた第一の方向性結合器2、この第一の方向性結合器2に隣接して設けられた位相シフト器3、この位相シフト器3に隣接して設けられた第二の方向性結合器4を備えて構成されている。位相シフト器3は、第一の電極3a、第二の電極3b、および第三の電極3cを備えて構成され、第三の電極3cを共通電極とし、この電極に（－）電圧、第一の電極3aと第二の電極3bに（＋）電圧を直流電源3dから印加し、電界を生じさせる。

【0004】

次に、図14の導波路型光制御デバイス（可変光減衰器）の動作について説明する。光導波路1aの端部から入力された信号光は、第一の方向性結合器2において、50%の比率により光導波路1aと1bに分岐され、さらに位相シフト器3に入力される。位相シフト器3は、直流電源3dからの印加電圧31の大きさに応じた動作をする。まず、印加電圧31が加えられていない場合、光導波路1aと1bに分岐された信号光は、互いに同位相で第二の方向性結合器4に入力し、その光導波路1bの出力端から全ての光が出光し、光導波路1aからは出力されない。

【0005】

次に、印加電圧31を0Vから上げていくと、光導波路1aと1bの屈折率が変化し、光導波路1aと1bを進む信号光の伝搬速度が変化する。光導波路1aと1bに印加される電圧は互いに逆方向であるため、位相シフト器3の光導波路1aと1bを進む信号光に速度差が生じる。この結果、光導波路1aと1bの各

信号光は、異なる位相で第二の方向性結合器4に入力する。このため、第二の方向性結合器4の分岐比率（結合率）は当初の50%からずれ、今まで第二の方向性結合器4の光導波路1bから全て出力されていた信号光の一部が、光導波路1aからも出力されるようになる。さらに、印加電圧31が、30～50V程度になると、ほぼ全ての信号光が光導波路1aから出力されるようになる。つまり、印加電圧31を適当な値に設定することにより、位相シフト器3における結合長Lが等価的に変化し、その変化に応じた光出力を得ることができる。

【0006】

ところで、印加電圧31を加えないとき、または、30～50V程度の電圧を加えたときに、全ての信号光を第二の方向性結合器4の光導波路1a、または光導波路1bのいずれか一方から出力させるためには、第一の方向性結合器2と第二の方向性結合器4の分岐比率（結合率）を正確に50%にする必要がある。そのためには、光導波路1aと1bの近接した部分の長さ（結合長 $L = \pi / 2 \gamma$ （ γ はポッケルス定数））を正確に完全結合長 $L_c (= \pi / 2 \kappa$ （ κ は結合係数））の1/2にする必要がある。第一の方向性結合器2と第二の方向性結合器4の分岐比率（結合率）が50%からずれると、第二の方向性結合器4の出力端では他方の導波路への漏れが大きくなり、最小減衰量と最大減衰量の比（消光比）を悪化させることになる。

【0007】

図15は、方向性結合器のギャップと結合長の関係を示す。

方向性結合器で問題なのは、光導波路1aと1bが近接結合している部分の長さ（結合長L）とギャップGである。分岐比率（結合率）を50%にするには、ギャップGのばらつきを無くし、結合長Lを〔完全結合長 $L_c \div 2$ 〕にする必要がある。この2つは製造プロセスにおける重要なパラメータになっている。

【0008】

図16は、製造パラメータによる特性の相違を示す。図15に示したギャップGにばらつきがなく、また、結合長Lが完全結合長 L_c の1/2に合致していれば、クロストークが最小になることにより、消光比が大きくなる理想的な特性130が得られる。しかし、ギャップGにばらつきがあったり、結合長Lが完全結

合長 L_c の $1/2$ に合致していないときには、特性131のように特性が劣化する。このような状態は、結合率が50%から数パーセント変化しただけで生じることが知られている。

【0009】

この問題を解決するものとして、特公平6-72964号に提案があり、位相シフト器用の電極とは別個に方向性結合器用の電極を光導波路の方向性結合器に設け、光導波路における屈折率を制御し、等価的に結合長 L を調整する構成になっている。この構成について、図17を示して説明する。

図17は、従来の他の導波路型光制御デバイスを示す。図17においても、導波路型光制御デバイスとして可変光減衰器を用いている。

光導波路1aおよび1bの入力端と出力端の間には、第一の方向性結合器2、位相シフト器3、および第二の方向性結合部4が直列に配置して形成されており、第一の方向性結合器2、位相シフト器3、および第二の方向性結合器4のそれぞれには、バイアス電圧を印加するための電極20a、20b、電極30a、30b、電極40a、40bが設けられている。電極20a、20bと40a、40bに印加する電圧を適宜設定することにより、第一および第二の方向性結合器2、4における屈折率が制御される。この結果、等価的に結合長 L が調整され、消光比の悪化が改善される。

【0010】

また、方向性結合器において、光導波路間の漏れ量を低減し、ダイナミックレンジの向上を図った構成が特開平10-142569号公報に提案されている。具体的には、方向性結合器における結合長 L を完全結合長 L_c の2倍または偶数倍にする構成が示されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の導波路型光制御デバイスによると、特公平6-72964号のように位相シフト器と二つの方向性結合器のそれぞれに独立に専用の電極を設けた場合、可変光減衰器のデバイスサイズが大きくなるほか、電極が3つのブロックに配置されるため、電圧制御の箇所が増えることになり、制御回路が複雑にな

るという不具合がある。

また、特開平 1 0 - 1 4 2 5 6 9 号公報の構成によれば、結合長 L が最短でも完全結合長 L_c の 2 倍の長さになり、全長が長くなるため、小型化を図ることができない。

【 0 0 1 2 】

したがって、本発明の目的は、構成を複雑化することなく、消光比やダイナミックレンジが改善が図れ、小型化が可能な導波路型光制御デバイスおよびその製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 3 】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明は、第 1 の特徴として、2 本の光導波路の両外側および前記 2 本の光導波路の間に形成された電極を有する第一の電極部が近接配置された位相シフト器と、前記 2 本の光導波路に連結された光導波路を部分的に近接平行させて構成されると共に、前記位相シフト器の入力側に設けられる光分岐部または出力側に設けられる光結合部の少なくとも一方に用いられる方向性結合器とを備え、前記位相シフト器の前記両外側の電極と前記導波路の間に形成された前記電極との間に印加された電圧に応じて前記 2 本の光導波路の屈折率を変化させる導波路型光制御デバイスであって、前記方向性結合器内の前記 2 本の光導波路の両外側および前記光導波路の間に設けられた電極を有し、これらの電極が前記 2 本の光導波路の長手方向に隣接する前記第一の電極部の各電極に電氣的に接続されると共に、前記第一の電極部に印加された電圧が印加される第二の電極部を備えることを特徴とする導波路型光制御デバイスを提供する。

【 0 0 1 4 】

この構成によれば、光分岐部または光結合部に用いられる方向性結合器は、その結合部に 2 本の光導波路の両外側および光導波路間のそれぞれに配置した 3 つの電極を持つ第二の電極部を有しており、この第二の電極部の各電極を位相シフト器の第一の電極部の 3 つの電極のそれぞれに個別および電氣的に接続することにより、位相シフト器の第一の電極部に印加した電圧は、同時に方向性結合器の第二の電極部の電極に印加されるため、方向性結合器における屈折率が位相シフ

ト器に印加した電圧により制御される。この結果、等価的に結合長 L が調整され、消光比の悪化が改善される。また、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要としないので間隔をとる必要がなく、導波路型光制御デバイスのサイズが大きくなることも、制御系を複雑にすることもない。

【 0 0 1 5 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第2の特徴として、2本の光導波路と、該2本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記2本の光導波路の間に配置される第3の電極とを含む位相シフト器と、前記位相シフト器の一方端において接続され、前記2本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記2本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記2本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも1の電極、および前記第三の電極が前記第一の方向性結合器または前記第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸されていることを特徴とする導波路型光制御デバイスを提供する。

【 0 0 1 6 】

この構成によれば、位相シフト器の第一、第二、および第三の電極は、共通の光導波路を用いる第一の方向性結合器または第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸している。したがって、位相シフト器の電極に印加した電圧は位相シフト器に電界を付与すると同時に第一または第二の方向性結合器にも付与され、いずれかの方向性結合器における屈折率も制御される。この結果、等価的に結合長 L が調整されるため、消光比の悪化が改善される。また、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要としないので間隔をとる必要がなく、導波路型光制御デバイスのサイズが大きくなることも、制御系を複雑にすることもない。

【 0 0 1 7 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第3の特徴として、2本の光導波路と、該2本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極

と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも 1 の電極、および前記第三の電極が前記第一の方向性結合器の一部分または全部にまでそれぞれ延伸され、前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも 1 の電極、および前記第三の電極が前記第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸されていることを特徴とする導波路型光制御デバイスを提供する。

【 0 0 1 8 】

この構成によれば、上記第 2 の特徴に加え、第一の方向性結合器と第二の方向性結合器の両方の一部分または全部にまで、位相シフト器の第一、第二、および第三の電極を延伸させている。したがって、位相シフト器における電極に印加した電圧によって、位相シフト器に電界が付与されると同時に第一および第二の方向性結合器に介在する電極部分から第一および第二の方向性結合器にも電界が付与され、方向性結合器のそれぞれにおける屈折率が制御される。この結果、等価的に結合長 L が調整されるため、消光比の悪化が改善される。また、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁が不必要なので間隔をとる必要がなく、導波路型光制御デバイスのサイズが大きくなることも、制御系を複雑にすることもない。

【 0 0 1 9 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第 4 の特徴として、2 本の光導波路と、該 2 本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスで

あって、前記第一の方向性結合器は、方向性結合部の2本の光導波路の両外側の近傍に配置された第一の方向性結合部外側電極と、前記方向性結合部の2本の光導波路の間に配置される第一の方向性結合部中間電極とを備え、前記第一の電極および前記第二の電極が前記第一の方向性結合部外側電極に電氣的に接続され、前記第三の電極が前記第一の方向性結合部中間電極に電氣的に接続されていることを特徴とする導波路型光制御デバイスを提供する。

【 0 0 2 0 】

この構成によれば、位相シフト器と共通の光導波路を用いる第一の方向性結合器は、2本の光導波路の両外側の近傍に配置された第一の方向性結合部外側電極と2本の光導波路の間に配置される第一の方向性結合部中間電極を備え、これらに位相シフト器の第一、第二、および第三の電極が電氣的に接続されている。したがって、位相シフト器における電極間に印加した電圧によって、位相シフト器に電界が付与されると同時に第一の方向性結合器にも電界が付与され、方向性結合器のそれぞれにおける屈折率が制御される。この結果、等価的に結合長 L が調整されるため、消光比の悪化が改善される。また、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要とせず、間隔をとる必要がないので、導波路型光制御デバイスのサイズが大きくなることも、制御系を複雑にすることもない。

【 0 0 2 1 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第5の特徴として、2本の光導波路と、該2本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記2本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、前記位相シフト器の一方端において接続され、前記2本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記2本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記2本の光導波路から入力された信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、前記第二の方向性結合器は、方向性結合部の2本の光導波路の両外側の近傍に配置された第二の方向性結合部外側電極と、方向性結合部の2本の光導波路の間に配置される第二の方向性結合部中間電極とを備え、前記第一の電極および前記第二の電極が前記第二の方向性結合部外側電極に電氣的に接続され、前記

第三の電極が前記第二の方向性結合部中間電極に電氣的に接続されていることを特徴とする導波路型光制御デバイスを提供する。

【 0 0 2 2 】

この構成によれば、位相シフト器と共通の光導波路を用いる第二の方向性結合器は、2本の光導波路の両外側の近傍に配置された第二の方向性結合部外側電極と2本の光導波路の間に配置される第二の方向性結合部中間電極を備え、これらに位相シフト器の第一、第二、および第三の電極が電氣的に接続されている。したがって、位相シフト器における電極間に印加した電圧によって、位相シフト器に電界が付与されると同時に第二の方向性結合器にも電界が付与され、方向性結合器のそれぞれにおける屈折率が制御される。この結果、等価的に結合長 L が調整されるため、消光比の悪化が改善される。また、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要としないので間隔をとる必要がなく、導波路型光制御デバイスのサイズが大きくなることも、制御系を複雑にすることもない。

【 0 0 2 3 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第6の特徴として、2本の光導波路の両外側および前記2本の光導波路の間に形成された電極を有する第一の電極部が近接配置された位相シフト器と、前記2本の光導波路に連結された光導波路を部分的に近接平行させて構成されると共に、前記位相シフト器の入力側に設けられる光分岐部または出力側に設けられる光結合部の少なくとも一方に用いられる方向性結合器とを備え、前記位相シフト器の前記両外側の電極と前記導波路の間に形成された前記電極との間に印加された電圧に応じて前記2本の光導波路の屈折率を変化させることにより通過光の減衰量を制御する可変光減衰器において、前記方向性結合器内の前記2本の光導波路の両外側および前記光導波路の間に設けられた電極を有し、これらの電極が前記2本の光導波路の長手方向に隣接する前記第一の電極部の各電極に電氣的に接続されると共に、前記第一の電極部に印加された電圧が印加される第二の電極部を備えることを特徴とする可変光減衰器を提供する。

【 0 0 2 4 】

この構成によれば、光分岐部または光結合部に用いられる方向性結合器は、そ

の領域内に 2 本の光導波路の両外側および光導波路間のそれぞれに配置した 3 つの電極を持つ第二の電極部を有しており、この電極部の各電極を位相シフト器の第一の電極部の 3 つの電極のそれぞれに個別および電氣的に接続することにより、位相シフト器の第一の電極部に印加した電圧は、同時に方向性結合器の第二の電極部の電極に印加されるため、方向性結合器における屈折率が位相シフト器に印加した電圧により制御され、光導波路を通過する信号光の減衰量が制御される。また、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要としないので間隔をとる必要がなく、可変光減衰器のサイズが大きくなることも、制御系（減衰量制御回路）を複雑にすることもない。

【 0 0 2 5 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第 7 の特徴として、1 または互いに異なる波長の複数の信号光を含む波長多重信号光が入力され、該波長多重信号光を分波して分波信号光をそれぞれ出力する光合波器と、前記分波信号光に選択的に所定の減衰量の光減衰をさせ、減衰信号光を出力する請求項 2 1 記載の可変光減衰器と、前記可変光減衰器による前記減衰信号光を合波する光合波器とを備えていることを特徴とする光イコライザ装置を提供する。

【 0 0 2 6 】

この構成によれば、入力された波長多重信号光を分波する光合波器、この光合波器の出力信号光に所定の光減衰を施す可変光減衰器、および各可変光減衰器からの信号光を合波する光合波器より構成されている。そして、上記本発明の第 6 の特徴で説明したように、可変光減衰器は、位相シフト器および方向性結合器の双方に介在する電極が個別に隣接する電極に電氣的に接続されているため、位相シフト器に印加された電圧により同時に方向性結合器にも電界が付与され、光導波路を通過する信号光の減衰量を制御できるので、信号光のレベル合わせが可能になる。このように、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要としないので間隔をとる必要がなく、また、印加電圧を共用できる結果、可変光減衰器の小型化が図れ、光イコライザ装置の大型化を招くことがない。

【 0 0 2 7 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第 8 の特徴として、1 または互いに

異なる波長の複数の信号光を含む波長多重信号光が入力され、該波長多重信号光を分波して分波信号光をそれぞれ出力する光分波器と、前記分波信号光から選択的に所定の波長の信号光を分離する波長可変フィルタと、前記波長可変フィルタを通過した前記分波信号光に選択的に所定の減衰量の光減衰をさせ、減衰信号光を出力する請求項 2 1 記載の可変光減衰器と、前記可変光減衰器からの前記減衰信号光または外部からの挿入信号光のいずれかを選択して出力するフィルタと、前記フィルタから出力される前記減衰信号光または前記挿入信号光を合波する光合波器とを備えていることを特徴とする光挿入分離装置を提供する。

【 0 0 2 8 】

この構成によれば、光分波器によって分波された信号光のそれぞれに対して波長可変フィルタにより選択的に所定の波長の信号光が分離され、ついで可変光減衰器により所望の光減衰が行われる。可変光減衰器からの信号光または外部からの挿入信号光が、フィルタにより選択して出力され、各フィルタからの信号光が光合波器で合波され、波長多重信号光となって出力される。可変光減衰器は、位相シフト器の第一の電極部および方向性結合器の第二の電極部が電氣的に接続され、電極に印加する電圧の共用が行える結果、電極配置スペースの最小化、および制御系の簡略化により可変光減衰器の小型化が図れ、よって光イコライザ装置の小型化を図ることができる。

【 0 0 2 9 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第 9 の特徴として、2 本の光導波路と、該 2 本の光導波路の外側にそれぞれ配置される第一の電極および第二の電極と、前記 2 本の光導波路の間に配置される第三の電極とを含む位相シフト器と、前記位相シフト器の一方端において接続され、前記 2 本の光導波路の一方から入力された信号光を分岐して前記 2 本の光導波路に出力する第一の方向性結合器と、前記位相シフト器の他端において接続され、前記 2 本の光導波路から入力される信号光を結合させる第二の方向性結合器とを備えた導波路型光制御デバイスであって、前記第一の電極と前記第二の電極のいずれか少なくとも 1 の電極、および前記第三の電極が前記第一の方向性結合器または前記第二の方向性結合器の一部または全部にまで延伸し、かつ前記第三の電極から延伸した電極部分が前記

2本の光導波路の一方に対して縦方向の電界を付与しうるように形成されていることを特徴とする導波路型光制御デバイスを提供する。

【 0 0 3 0 】

この構成によれば、位相シフト器の第一、第二、および第三の電極は、共通の光導波路を用いる第一の方向性結合器または第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸し、しかも、第三の電極の方向性結合器における延伸部分は、光導波路の一方に対して縦方向の電界を付与するように設けられている。したがって、位相シフト器の電極に印加した電圧は位相シフト器に電界を付与すると同時に第一または第二の方向性結合器にも垂直方向（電極厚み方向）から付与され、屈折率が制御される。縦方向の電界を付与できることにより、同一電圧のときには強い電界を付与でき、同一電界のときには低い印加電圧にすることができる。また、等価的に結合長 L が調整されるので、消光比の悪化が改善される。さらに、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要としないので間隔をとる必要がなく、導波路型光制御デバイスのサイズが大きくなることも、制御系を複雑にすることもない。

【 0 0 3 1 】

上記の目的を達成するために、本発明は、第10の特徴として、基板内に位相シフト器および少なくとも1の方向性結合器が構成されるように2本の光導波路を形成し、前記位相シフト器から前記方向性結合器の一部に及ぶように第一の電極および第二の電極を前記2本の光導波路の両外側に形成すると共に、前記位相シフト器から前記方向性結合器の一部に及ぶように第三の電極を前記2本の光導波路の間に形成し、同時に、前記第二および第三の電極の端部に複数の独立した電極片を所定間隔に形成しまたはヒューズで縦続接続された状態に複数の電極片を所定間隔に形成し、前記方向性結合器の特性が所望の値になるように、前記複数の独立した電極片の必要数を内側からボンディングワイヤで順次接続し、または縦続接続された前記複数の電極片の前記ヒューズを外側から順次溶断することを特徴とする導波路型光制御デバイスの製造方法を提供する。

【 0 0 3 2 】

この方法によれば、2本の光導波路により位相シフト器と少なくとも1の方向

性結合器を形成した後、それぞれに第一、第二、および第三の電極を所定の領域に形成し、方向性結合器においては第一および第二の電極の端部に複数の電極片をヒューズにより相互に接続し、或いはボンディングワイヤで接続するようにしたので、第一および第二の電極の長さを微調整、すなわち特性を最良となるようにチューニングすることができる。

【 0 0 3 3 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

〔第 1 の実施の形態〕

図 1 は本発明の導波路型光制御デバイスの第 1 の実施の形態を示す。以下の各実施の形態においては、いずれも導波路型光制御デバイスとして可変光減衰器をとりあげて説明する。

第一の方向性結合器 2、位相シフト器 3（位相シフト部）、および第二の方向性結合器 4 が直列に L N 基板（図示せず）上に配置され、これらを貫通するように光導波路 1 a，1 b が平行状態に設けられており、第一の方向性結合器 2 および第二の方向性結合器 4 の位置においては、方向性結合器が形成されるように間隔が狭められている。さらに、第一の方向性結合器 2、位相シフト器 3、および第二の方向性結合器 4 に及ぶようにして、第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 が L N 基板上に設けられている。

【 0 0 3 4 】

すなわち、光導波路 1 a の外側には第一の電極 5 1 が設けられ、光導波路 1 b の外側には第二の電極 5 2 が設けられ、光導波路 1 a と 1 b の間には第三の電極 5 3 が設けられている。換言すれば、図 1 4 の従来構成における第一の電極 3 a、第二の電極 3 b、および第三の電極 3 c が、第一の方向性結合器 2 および第二の方向性結合器 4 に入る様に延伸した構成になっている。第一の電極 5 1 および第二の電極 5 2 と、第三の電極 5 3 の間には、バイアス電圧 5 4 が直流電源 5 5 によって印加される。第一の電極 5 1 と第二の電極 5 2 には正（+）電圧が印加され、第三の電極 5 3 には負（-）電圧が印加される。

【 0 0 3 5 】

図 1 の構成において、位相シフト器 3 に介在している第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 の 3 つの電極の組み合わせを第一の電極部とし、第一の方向性結合器 2 に介在している第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 の 3 つの電極の組み合わせを第二の電極部とし、更に、第一の方向性結合器 2 に介在している第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 の 3 つの電極の組み合わせを第三の電極部とする。

【 0 0 3 6 】

次に、上記第 1 の実施の形態の動作について説明する。

光導波路 1 a の入力端から入力された信号光は、第一の方向性結合器 2 において光導波路 1 a と光導波路 1 b に 5 0 % の比率（割合）で分岐された後、位相シフト器 3 に入力される。位相シフト器 3 は、第一の電極 5 1 と第二の電極 5 2 に印加されたバイアス電圧 5 4 に応じて動作する。すなわち、バイアス電圧 5 4 が加えられていないときには、光導波路 1 a と 1 b に分岐された信号光が互いに同位相で第二の方向性結合器 4 に入力され、入力光の全てが光導波路 1 b の出力端から出光する。そして、バイアス電圧 5 4 を 0 V から或る電圧に増加すると、光導波路 1 a および 1 b の屈折率が変化し、光導波路 1 a と 1 b を進む信号光の伝搬速度が変化する。

【 0 0 3 7 】

バイアス電圧 5 4 は、光導波路 1 a と 1 b とでは互いに逆方向に加えられるので、位相シフト器 3 の光導波路 1 a と 1 b を進む信号光に速度差が生じ、光導波路 1 a と 1 b の各信号光は異なる位相により第二の方向性結合器 4 に入力する。このため、第二の方向性結合器 4 の分岐比率（結合率）は 5 0 % ずつの値からずれることになり、それまで第二の方向性結合器 4 の光導波路 1 b の出力端からのみ出力されていた信号光の一部が、光導波路 1 a から出力されるようになる。さらに、バイアス電圧 5 4 が、3 0 ～ 5 0 V 程度になると、ほぼ全ての信号光が光導波路 1 a から出力されるようになる。このように、バイアス電圧 5 4 を適当な値に設定することにより、所望の光減衰量にされた光出力信号を得ることができる。

【 0 0 3 8 】

段落番号〔0006〕で説明したように、バイアス電圧54を加えないとき、または30～50V程度の高い電圧を加えたときに、全ての信号光を第二の方向性結合器4の光導波路1aまたは光導波路1bのいずれかより出力させるためには、方向性結合器の光導波路1aと1bの近接した部分の長さ（結合長L）を正確に完全結合長 L_c の $1/2$ にして、第一の方向性結合器2と第二の方向性結合器4の分岐比率（結合率）を正確に50%にする必要がある。分岐比率が50%からずれると、第二の方向性結合器4の出力端において他方の導波路への漏れが大きくなり、最小減衰量と最大減衰量の比（消光比）が悪くなる。

【0039】

しかし、本発明によれば、3本の電極により構成された電極部を第一の方向性結合器2および第二の方向性結合器4にも設けたため、これら方向性結合器内の光導波路にも電界が付与され、方向性結合器2、4のそれぞれの伝搬定数を調整できるようになるので、等価的に結合長Lが調整可能になる。すなわち、第一の方向性結合器2の光導波路1aと1bの近接した部分に各々逆向きの電圧を加えることにより、第一の方向性結合器2内を伝搬する信号光に速度差が生じることになり、等価的に光導波路1aと1bの伝搬定数（ β_a 、 β_b ）を変化させることができる。

【0040】

図2は、従来構成と本発明の特性の比較結果を示す。

図2の（a）の特性は図14に示した従来構成による特性であり、図2の（b）の特性は図1に示した本発明の導波路型光制御デバイスによる特性である。（a）の従来特性においては、最大減衰量（＝挿入損失）は13dBが限度である。これに対して、（b）の本発明特性は、電極に印加する電圧を0～数十Vの範囲としたとき、その最大減衰量は20dBに達しており、特性が顕著に改善されていることがわかる。

【0041】

図3は第一の方向性結合器2にバイアス電圧54を印加しないときと、したときの伝搬定数の変化を示す。

図3の（a）に示すように、第一の電極51、52と第三の電極53の間にバ

イアス電圧を印加しないときの方向性結合器における伝搬定数は βa と βb である。しかし、電極に電圧を印加すると、図3の(b)に示すように、伝搬定数は $(\beta a - \Delta \beta)$ と $(\beta b + \Delta \beta)$ になる。この結果、結合長 L は、 $(L - \Delta L)$ になり、等価的に第一の方向性結合器2の結合長 L が調整される。

【0042】

図3においては、第一の方向性結合器2について説明したが、第二の方向性結合器4についても同様であることは言うまでもない。このようにして、それぞれの方向性結合器の結合長 L を調整すれば、分岐比率（結合率）を正確に50%づつにすることが可能になる。第一の方向性結合器2（または、第二の方向性結合器4）に加えられる電圧は、位相シフト器3に加えられる電圧と同一であるため、本発明の光可変減衰器のダイナミックレンジの全ての領域において最適化されているわけではない。しかし、実際に使用する領域（バイアス電圧54が0～約50Vの範囲）において実用上十分な最小減衰量と最大減衰量の比（消光比）を確保できることを、本発明者らは確認している。

【0043】

以上の構成による導波路型光制御デバイスは、等価的に結合長 L が調整されるため、消光比の悪化を改善することができる。また、電極数が全体で3枚で済むため、図14の従来構成のようにデバイスサイズが大きくなることもなく、したがって制御系が複雑になることもない。

【0044】

〔第2の実施の形態〕

図4は、本発明の第2の実施の形態を示す。

本実施の形態は、第一の電極51、第二の電極52、および第三の電極53を設ける構成に変わりはないが、各電極の位置を光導波路1a, 1bに対して直交する方向（図示の右または左の方向）にオフセットを与えたところに特徴がある。図4では、矢印方向（光導波路1b側）にシフトさせている。このような配置によっても第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。この結果、光導波路1a, 1bに対して電極51～53を厳密に位置決めしなくとも済むので、製品ばらつきの低減、および歩留りの向上が可能になる。

【 0 0 4 5 】

図 5 は、図 3 の可変光減衰器における消光比特性を示す。図 5 の (a) は各電極を右方向にオフセットした場合であり、図 5 の (b) は各電極を左方向にオフセットした場合である。このように、電極を左右のいずれかに移動（オフセット）させることにより、光パワーの出力状態を自由に変えることができる。そして、図 5 から明らかなように、実際に使用する領域（印加電圧＝バイアス電圧 5 4 が 0 ～約± 5 0 V）において、実用上十分な最小減衰量と最大減衰量の比（消光比）を確保することができる。図 5 の (a) と (b) を比較した場合、印加電圧を 0 ～+ 5 0 V の範囲で用いる場合には (a) の特性が適し、0 ～- 5 0 V の範囲で用いる場合には (b) の特性が適している。

【 0 0 4 6 】

〔第 3 の実施の形態〕

図 6 は、本発明の第 3 の実施の形態を示す。

本実施の形態は、第一の電極 5 1 と第二の電極 5 2 の形状を異ならせたところに特徴がある。すなわち、光導波路 1 a , 1 b の中心線 5 6 を中心にして第一の電極 5 1 と第二の電極 5 2 の長さが非対称（第二の電極 5 2 が第一の電極 5 1 よりも長さが短い）になるようにし、第一の電極 5 1 , 5 2 と第三の電極 5 3 の間にバイアス電圧 5 4 を印加する構成にしている。本実施の形態においては、第二の電極 5 2 の長さを調整することにより、伝搬定数 βb を $\beta b'$ に変更することができる。これにより、光導波路 1 a と 1 b とで異なる伝搬定数 β を得ることができる。したがって、可変光減衰器の場合であれば、光導波路 1 a と 1 b とで異なる光量減衰値に制御することができる。

【 0 0 4 7 】

〔第 4 の実施の形態〕

図 7 は、本発明の第 4 の実施の形態を示す。

本実施の形態も第一の電極 5 1 と第二の電極 5 2 の形状を異ならせたところに特徴がある。具体的には、第二の電極 5 2 の長さを位相シフト器 3 の光導波路 1 b の直進部の長さと同じにし、全体の形状を四角形にしている。この場合もバイアス電圧 5 4 は、第一の電極 5 1 と第三の電極 5 3 の間に印加する。

【 0 0 4 8 】

図 7 の場合、第二の電極 5 2 は光導波路 1 b の第一の方向性結合器 2 および第二の方向性結合器 4 に及んでいないため、図 1 4 の光導波路 1 b における従来の電極配置と同じになる。つまり、本実施の形態は、光導波路 1 a に対してのみ 3 つの電極 5 1 ～ 5 3 を有効にでき、方向性結合器 2, 4 における光導波路 1 b には電界が付与されない。この構成は、消光比が光導波路 1 a と 1 b の一方についてのみ改善されれば良いという場合に効果がある。さらに、光導波路 1 a と 1 b の一方の電極を小さくできる構成のため、導波路型光制御デバイスの専有面積を小さくすることができる。

【 0 0 4 9 】

〔第 5 の実施の形態〕

図 8 は、本発明の第 5 の実施の形態を示す。

本実施の形態が前記各実施の形態と異なるところは、各電極の長さを位相シフター 3 の長さをやや越える程度にしたところにある。すなわち、各電極の端部が第一の方向性結合器 2 および第二の方向性結合器 4 に入り込む程度としている。この場合のバイアス電圧 5 4 の印加方法は前記各実施の形態と同一である。

本実施の形態によれば、第 1 の実施の形態に比べ、結合率を調整する能力はやや劣るが、電極面積を小さくできるので、導波路型光制御デバイスの小型化が可能になる。

【 0 0 5 0 】

〔第 6 の実施の形態〕

図 9 は、本発明の第 6 の実施の形態を示す。

本実施の形態は図 8 の実施の形態の変形例であり、図 8 の構成に図 4 の構成を加味したものである。すなわち、第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 を光導波路 1 a, 1 b の中心線 5 6 に対し、オフセットさせた構成にしている。図 9 では、図示の右側にシフトさせている。なお、各電極へのバイアス電圧 5 4 の印加は、図 8 と同じである。この構成によれば、図 8 と図 4 の特徴を併せ持ち、電極配置の自由度が得られるほか、電極面積が小さくなるために導波路型光制御デバイスの小型化を図ることができる。

【0051】

図10は、図9の実施の形態における消光比（最小減衰量と最大減衰量）特性を示す。3つの電極を同時に中心から右または左にオフセットした場合である。図10から明らかなように、実用上十分な最小減衰量と最大減衰量の比（消光比）が得られることがわかる。

【0052】

〔第7の実施の形態〕

図11は、本発明の第7の実施の形態を示す。

本実施の形態は、図1の実施の形態において、第一の電極51の両端を複数の電極片51a, 51b, 51e, 51dに分割し、これ以外の電極部分を主電極51cとし、同様に第二の電極52の両端を複数の電極片52a, 52b, 52d, 52eに分割し、これ以外の電極部分を主電極52cとしている。方向性結合器のそれぞれにおいて、電極片の必要数を電氣的に縦続接続する。ここでは、ボンディングワイヤ6a, 6bにより主電極51cと電極片51a, 51b, 51e, 51dを接続し、ボンディングワイヤ7a, 7bにより主電極52cと電極片52a, 52b, 52d, 52eを縦続接続している。このような構成により、第一の電極51および第二の電極52の方向性結合器における長さを微調整することが可能になるため、最良の特性が得られるようにチューニングすることができる。

【0053】

なお、図11の構成においては、ボンディングワイヤを用いて電極片相互の接続、および電極片と主電極との接続を行ったが、各電極片間および主電極との接続を予めヒューズとして機能する細線で接続しておき、必要に応じて外側の電極片のヒューズからレーザービーム等により溶断し、電極片の接続数を必要に応じて減らす構成にしてもよい。

【0054】

〔第8の実施の形態〕

図12は、本発明の第8の実施の形態を示す。本実施の形態は、図1の構成において、第三の電極53を光導波路1b上に配置し、第三の電極53と光導波路

1 a が部分的（または全部）に厚み方向（垂直方向）の重なりをもたせ、光導波路に縦電界が付与されるようにしたものである。ここでは、光導波路 1 b 上に第三の電極 5 3 を設けるものとしたが、光導波路 1 a 側に設けてもよい。図 1 2 の構成によれば、光導波路と 1 b と第三の電極 5 3 の距離が近づくため、電圧印加時の電界を強めることができ、したがって感度を上げることができる。

【 0 0 5 5 】

図 1 3 は、図 1 2 の A - A 断面を示す。ここでは、(a) ~ (d) の 4 つの構造例について説明する。なお、第一の方向性結合器 2 における断面を示したが、第二の方向性結合器 4 においても全く同じである。図 1 3 の (a) は第 1 の構造例を示し、 LiNbO_3 （ニオブ酸リチウム：LN）基板 5 6 の表面近傍に光導波路 1 a, 1 b を設けた後、 LiNbO_3 基板 5 6 および光導波路 1 b の表面に第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 を設ける。この構成は、方向性結合器の厚みを薄くできる利点を有するが、光が吸収され易いので挿入損失が増えることは避けられない。

【 0 0 5 6 】

図 1 3 の (b) は第 2 の構造例を示し、 LiNbO_3 基板 5 6 の表面近傍に光導波路 1 a, 1 b を設けた後、 LiNbO_3 基板 5 6 および光導波路 1 b の表面に、誘電体膜（酸化膜： SiO_2 、ITO: Indium Tin Oxide 等）や半導体膜（Si 等）によるバッファ層 5 7 が設けられる。更に、バッファ層 5 7 の表面には、上から見て図 1 2 の配置になるように、第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 が設けられる。この構成は、図 1 3 の (a) に比べ、バッファ層 5 7 を設けたことにより、光の吸収が抑えられるため、挿入損失を小さくすることができる。

【 0 0 5 7 】

図 1 3 の (c) は第 3 の構造例を示し、 LiNbO_3 基板 5 6 の表面近傍に光導波路 1 a, 1 b を設けると共に、 LiNbO_3 基板 5 6 の裏面に第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 が設けられる。この場合の 3 つの電極は、第 2 の構造例における電極配置を投影させた位置に設けられる。この構造では、 LiNbO_3 基板 5 6 の厚みに応じて光導波路 1 a, 1 b と各電極との間

隔（距離）を自由に設定、すなわち感度等を自由に設定できる利点がある。

【 0 0 5 8 】

図 1 3 の（d）は第 4 の構造例を示し、 LiNbO_3 基板 5 6 の表面近傍の所定位置に光導波路 1 a, 1 b を設けた後、第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 を設ける部位にエッチング等により溝 5 8 を形成する。この場合、第三の電極 5 3 は光導波路 1 b 内に埋め込むことはできないので、光導波路 1 b に隣接する部位に設けられる。そして、溝 5 8 内に第一の電極 5 1、第二の電極 5 2、および第三の電極 5 3 が設けられる。この構成においては、各電極は光導波路 1 a, 1 b と同一平面上に形成される。なお、溝 5 8 を先に形成して各電極を設け、ついで光導波路 1 a, 1 b を設ける製造手順にしてもよいし、溝 5 8 を設けてから光導波路 1 a, 1 b を設け、ついで電極を設ける製造手順にしてもよい。

なお、図 1 3 の 4 つの構造例は、電極の位置、配置、形状等が異なるのみで上記した他の実施の形態にも同様の構造をもたせることができる。

【 0 0 5 9 】

〔第 9 の実施の形態〕

図 1 8 は、本発明による導波路型光制御デバイスを用いた光イコライザ装置の構成を示す。

この光イコライザ装置は、光伝送路の途中に設けられ、入力光を波長の異なる複数の信号光に分波する光分波器としてのデマルチプレクサ（demultiplexer）1 0 1、その各々の出力光の減衰量を調整してレベル合わせを行う複数の可変光減衰器 1 0 0、この可変光減衰器 1 0 0 のそれぞれからの信号光を合波する光合波器としてのマルチプレクサ（multiplexer）1 0 2、および可変光減衰器 1 0 0 の減衰量を制御するための減衰量制御回路 1 1 0 を備えて構成されている。可変光減衰器 1 0 0 には、上記した各実施の形態に示した導波路型光制御デバイスが用いられ、デマルチプレクサ 1 0 1 には図 1 に示した光導波路 1 a が接続され、マルチプレクサ 1 0 2 には光導波路 1 b が接続される。また、減衰量制御回路 1 1 0 は、図 1 に示した直流電源およびその出力電圧を可変する電圧可変回路を備えている。デマルチプレクサ 1 0 1 により分波された信号光のそれぞれの減衰

量を可変光減衰器 1 0 0 および減衰量制御回路 1 1 0 で調整することにより、相互間のレベル合わせを行うことができる。上記したように、本発明の導波路型光制御デバイス（可変光減衰器 1 0 0）は小型化が図れるため、図 1 8 の構成にあって、デマルチプレクサ 1 0 1 やマルチプレクサ 1 0 2 との組み合わせを行っても装置の大型化を招くことがない。

【 0 0 6 0 】

さらに、減衰量制御回路 1 1 0 により、可変光減衰器 1 0 0 のそれぞれから出力すべき信号光のレベルが予め設定したレベル差になるように制御することもできる。例えば、光増幅器の利得の波長依存性や伝送路損失の波長依存性を考慮して光レベル差を設定しておくことにより、光増幅器の利得の波長依存性や伝送路損失の波長依存性を改善することができる。

【 0 0 6 1 】

〔第 1 0 の実施の形態〕

図 1 9 は、本発明による導波路型光制御デバイスを適用した光挿入分離装置の構成を示す。

この光挿入分離装置は、或る距離をもって敷設された光伝送線路の途中に設けられている。光分波器としてのデマルチプレクサ 1 0 1 に入力される多重信号光は不図示の光増幅器で増幅された後、デマルチプレクサ 1 0 1 によって分波される。分波された信号のそれぞれは、1×2 光スイッチ 1 0 3 の切り替えに応じてドロップされ（外部に取り出され）、或いは、ドロップせずに出力側へ送られる。出力側に送られた信号光は、可変光減衰器 1 0 0 と減衰量制御回路 1 1 0 により光減衰量の調整が行われ、チャンネル毎の出力レベルが揃えられる。可変光減衰器 1 0 0 には、上記した各実施の形態に示した導波路型光制御デバイスを用いることができる。可変光減衰器 1 0 0 のそれぞれからの信号光は光合波器としてのマルチプレクサ 1 0 2 により多重光に合波され、光伝送路へ出力される。また、2×1 光スイッチ 1 0 4 が A d d 側に切り替えられた場合、アド端から取り込まれた光情報が 2×1 光スイッチ 1 0 4 に入力され、デマルチプレクサ 1 0 1 から取り込まれた多重信号光に合波（A d d）される。この光挿入分離装置においても、導波路型光制御デバイスを可変光減衰器 1 0 0 に用いることにより小型化

が図れるため、デマルチプレクサ 1 0 1 やマルチプレクサ 1 0 2 との組み合わせを行っても装置の大型化を招くことがない。

【 0 0 6 2 】

〔第 1 1 の実施の形態〕

図 2 0 は、本発明による導波路型光制御デバイスを適用した光挿入分離装置の他の構成を示す。

この光挿入分離装置は、図 1 9 の構成において、光分波器としての 1 × 2 光スイッチ 1 0 3 を波長可変フィルタ 1 0 5 に代え、光合波器としての 2 × 1 光スイッチ 1 0 4 をフィルタ 1 0 6 に代えたものである。波長可変フィルタ 1 0 5 は、デマルチプレクサ 1 0 1 により分波された信号光から選択的に所定の波長の信号光を分離する。この波長可変フィルタ 1 0 5 の出力光に対して可変光減衰器 1 0 0 と減衰量制御回路 1 1 0 によって所定の減衰を行う。さらに、可変光減衰器 1 0 0 の信号光出力または外部から挿入された信号光をフィルタ 1 0 6 で選択し、これをマルチプレクサ 1 0 2 に入力する。マルチプレクサ 1 0 2 は、他のフィルタ 1 0 6 から出力された信号光を合波して出力する。この光挿入分離装置においても、導波路型光制御デバイスを可変光減衰器 1 0 0 に用いることにより小型化が図れるため、波長可変フィルタ 1 0 5 やフィルタ 1 0 6 との組み合わせを行っても装置の大型化を招くことがないので、小型化および軽量化を図ることができる。

【 0 0 6 3 】

この構成においても、減衰量制御回路 1 1 0 により、可変光減衰器 1 0 0 のそれぞれから出力すべき信号光のレベルが予め設定したレベル差になるように制御することもできる。例えば、光増幅器の利得の波長依存性や伝送路損失の波長依存性を考慮して光レベル差を設定しておくことにより、光増幅器の利得の波長依存性や伝送路損失の波長依存性を改善することができる。

【 0 0 6 4 】

上記した第 2 および第 3 の実施の形態においては、第 1 の実施の形態の電極構成に対し、第二の電極 5 2 側の形状を異ならせるものとしたが、逆に、第一の電極 5 1 側の形状を異ならせるようにしてもよい。さらに、図 1 8 ～図 2 0 の構成

は、相互に組み合わせた（混在した）構成が可能であるほか、図 1 8 ～ 図 2 0 の 3 種の構成の内の 2 種又は全種を含んでいてもよい。また、図 1 8 ～ 図 2 0 においては、デマルチプレクサ 1 0 1 に接続される可変光減衰器の全てが同一構成である必要はなく、上記した導波路型光制御デバイスのバリエーションが混在していてもよい。

【 0 0 6 5 】

また、上記各実施の形態においては、いずれも導波路型光制御デバイスとして可変光減衰器をとりあげたが、本発明は可変光減衰器に限定されるものではなく、電極に印加する電圧に応じて光導波路を通過する光を制御する全ての導波路型光制御デバイスに適用することができる。例えば、光導波路を用いて構成された光スイッチ、光強度変調器等に適用することができる。

【 0 0 6 6 】

さらに、上記実施の形態においては、位相シフト部の入力側に設けられる光分岐部または出力側に設けられる光結合部のそれぞれに方向性結合器を設ける構成を示したが、どちらか一方のみに設ける構成であってもよい。例えば、方向性結合器を用いなかった側には、Y 分岐器を用いることができる。具体的には、Y 分岐器を光分岐部に用い、光結合部に本発明にかかる方向性結合器を用いて 1 入力 2 出力の構成、或いは、光分岐部に本発明にかかる方向性結合器を用い、光結合部に Y 分岐器を用いて 2 入力 1 出力の構成がある。いずれの構成も、方向性結合器で問題であった製造精度（歩留り）を改善できるため、方向性結合器の使用数が少ない分だけ有利になる。

【 0 0 6 7 】

【 発明の効果 】

以上説明した通り、本発明の導波路型光制御デバイスによれば、位相シフト部の電極部に印加した電圧が同時に少なくとも 1 つの方向性結合器の各電極部の電極に印加される構成にしたので、方向性結合器のために別途制御系を設けることなく、方向性結合器における屈折率を制御できるようになり、等価的に結合長 L が調整されるため、消光比の悪化が改善される。また、電極数が位相シフト器と変わらないので、デバイスのサイズが大きくならないので導波路型光制御デバイ

スの小型化が可能になるほか、制御系が複雑になることがなく、制御も簡単になる。

【 0 0 6 8 】

また、本発明の可変光減衰器によれば、方向性結合器が2本の光導波路の両外側および光導波路間のそれぞれに配置した3つの電極を持つ第二の電極部を備え、この電極部の各電極を位相シフト器の第一の電極部の3つの電極のそれぞれに個別および電氣的に接続し、位相シフト器の第一の電極部に印加した電圧が同時に方向性結合器の第二の電極部の電極に印加されるように構成し、方向性結合器における屈折率が位相シフト器に印加した電圧により制御され、光導波路を通過する信号光の減衰量が制御されるように構成したので、可変光減衰器のサイズの小型化が図れ、制御系（減衰量制御回路）を複雑にすることもない。

【 0 0 6 9 】

さらに、本発明の光イコライザ装置及び光挿入分離装置によれば、光分波器と光合波器の間に、位相シフト器と方向性結合器のそれぞれの電極部に共用の制御電圧を印加する構成の可変光減衰器を配置し、この可変光減衰器により光減衰量を制御して光分波された各信号光のレベル合わせが行えるようにしたので、可変光減衰器の小型化が図れ、光イコライザ装置や光挿入分離装置の大型化を招くことがない。

【 0 0 7 0 】

また、本発明の導波路型光制御デバイスによれば、位相シフト器の第一，第二，および第三の電極は、共通の光導波路を用いる第一の方向性結合器または第二の方向性結合器の一部分または全部にまで延伸し、しかも、第三の電極の方向性結合器における延伸部分は、光導波路の一方に対して縦方向の電界を付与するように設けられているため、位相シフト器の電極に印加した電圧により第一または第二の方向性結合器に垂直方向（電極厚み方向）から屈折率を制御するための電界が付与され、同一電圧のときには強い電界を付与でき、同一電界のときには印加電圧を低くすることができる。更に、等価的に結合長 L が調整されるので、消光比の悪化が改善され、また、位相シフト器の電極と方向性結合器の電極の絶縁を必要としないので間隔をとる必要がなく、導波路型光制御デバイスのサイズが

大きくなることも、制御系を複雑にすることがない。

【 0 0 7 1 】

さらに、本発明の導波路型光制御デバイスの製造方法によれば、2本の光導波路により位相シフト器及び方向性結合器を形成した後、それぞれに第一、第二、および第三の電極を所定の領域に形成すると共に、方向性結合器においては第一および第二の電極の端部に複数の電極片をヒューズにより相互に接続し、或いはボンディングワイヤで接続することにより、第一、第二の電極の長さを微調整して電界形成領域を可変できるようになる。この結果、最良の特性が得られるようなチューニングが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の導波路型光制御デバイスの第 1 の実施の形態を示す平面図である。

【図 2】

従来構成と本発明の特性の比較結果を示す特性図である。

【図 3】

第一の方向性結合器にバイアス電圧を印加しないときと、印加したときの伝搬定数の変化を示す特性図である。

【図 4】

本発明の第 2 の実施の形態を示す平面図である。

【図 5】

図 1 の導波路型光制御デバイスにおける消光比特性を示す特性図である。

【図 6】

本発明の第 3 の実施の形態を示す平面図である。

【図 7】

本発明の第 4 の実施の形態を示す平面図である。

【図 8】

本発明の第 5 の実施の形態を示す平面図である。

【図 9】

本発明の第 6 の実施の形態を示す平面図である。

【図 1 0】

図 9 の実施の形態における消光比特性を示す特性図である。

【図 1 1】

本発明の第 7 の実施の形態を示す平面図である。

【図 1 2】

本発明の第 8 の実施の形態を示す平面図である。

【図 1 3】

図 1 2 の A - A 断面を示し、(a) ~ (e) は第 1 ~ 第 4 の構造例を示す断面図である。

【図 1 4】

従来の方向性結合器型マッハツェンダ (M Z) 構成の導波路型光制御デバイスの構成を示す平面図である。

【図 1 5】

方向性結合器のギャップと結合長を示す模式図である。

【図 1 6】

製造パラメータによる特性の相違を示す特性図である。

【図 1 7】

従来の他の導波路型光制御デバイスを示す平面図である。

【図 1 8】

本発明による導波路型光制御デバイスを用いた光イコライザ装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 9】

本発明による導波路型光制御デバイスを適用した光挿入分離装置の構成を示すブロック図である。

【図 2 0】

本発明による導波路型光制御デバイスを適用した光挿入分離装置の他の構成を示すブロック図である。

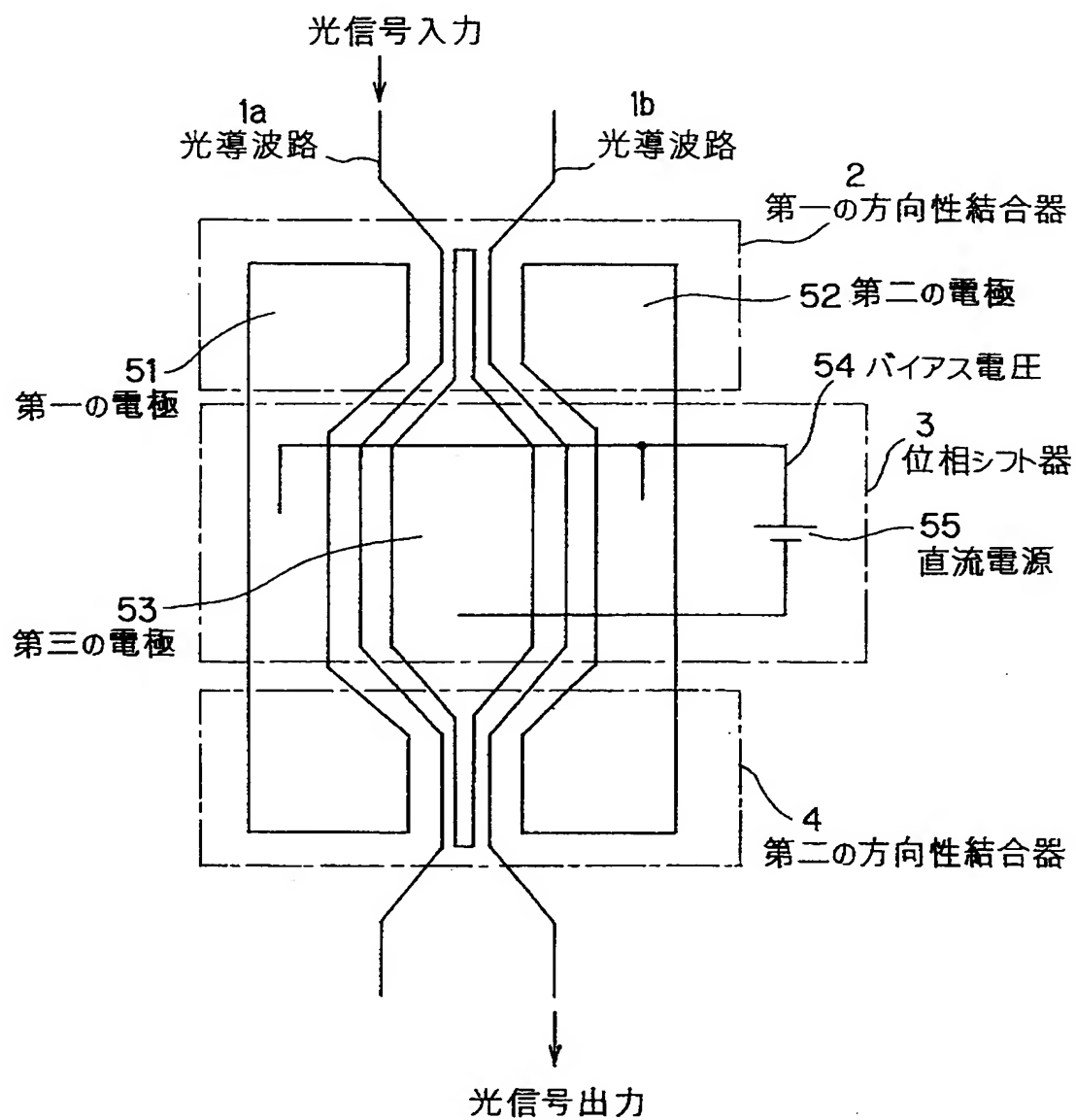
【符号の説明】

1 a , 1 b 光導波路

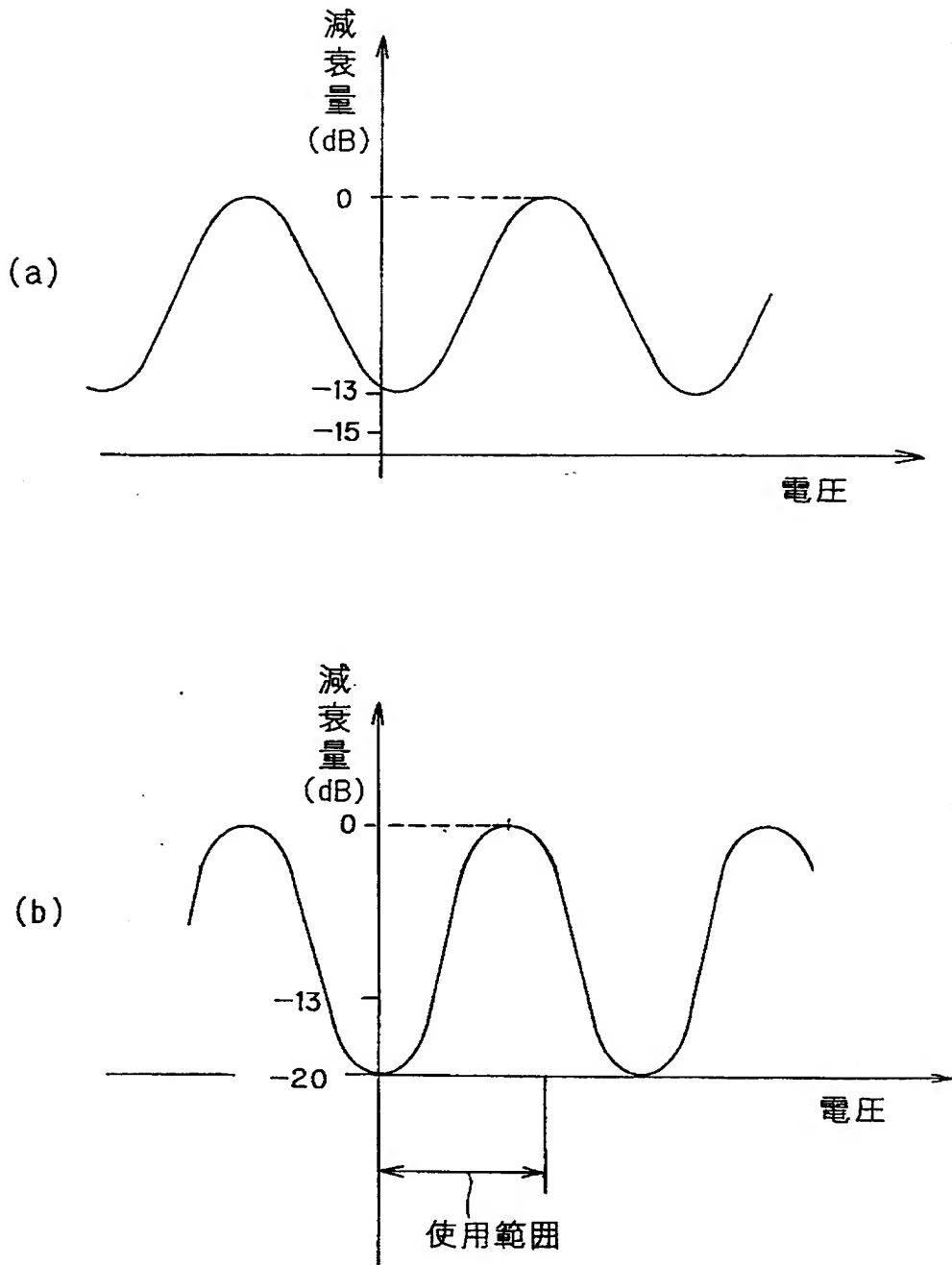
- 2 第一の方向性結合器
- 3 位相シフト器
- 4 第二の方向性結合器
- 5 1 第一の電極
 - 5 1 a, 5 1 b, 5 1 d, 5 1 e 電極片
 - 5 1 c, 5 2 c 主電極
- 5 2 第二の電極
 - 5 2 a, 5 2 b, 5 2 d, 5 2 e 電極片
- 5 3 第三の電極
- 5 4 バイアス電圧
- 5 5 直流電源
- 5 6 LiNbO_3 基板
- 5 7 バッファ層
- 5 8 溝
- 1 0 0 可変光減衰器
- 1 0 1 デマルチプレクサ
- 1 0 3 1×2 光スイッチ
- 1 0 5 波長可変フィルタ
- 1 0 6 フィルタ
- 1 1 0 減衰量制御回路

【書類名】 図面

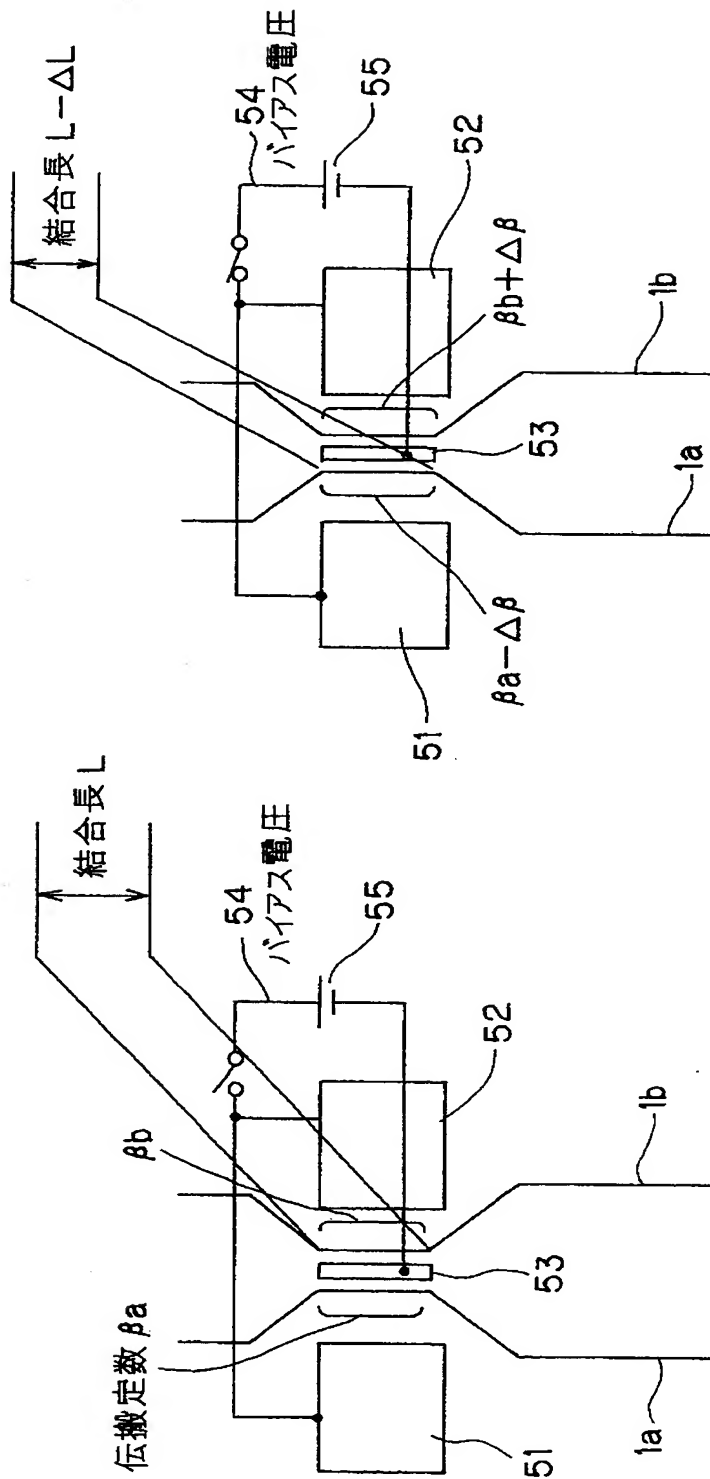
【図1】



【図 2】



【図 3】



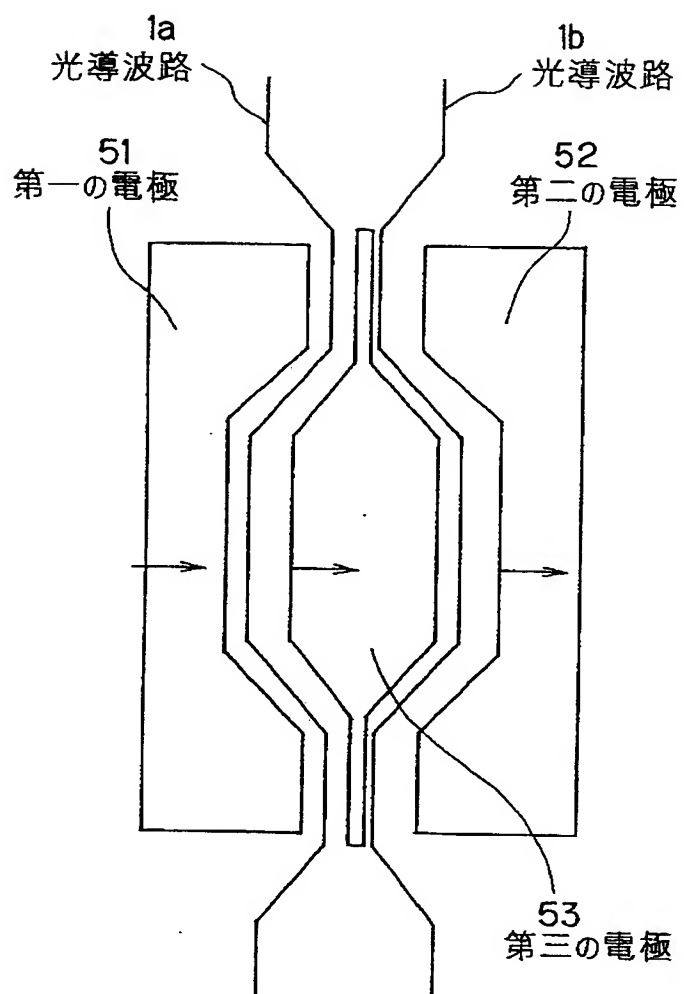
電極に電圧を加えたとき

(b)

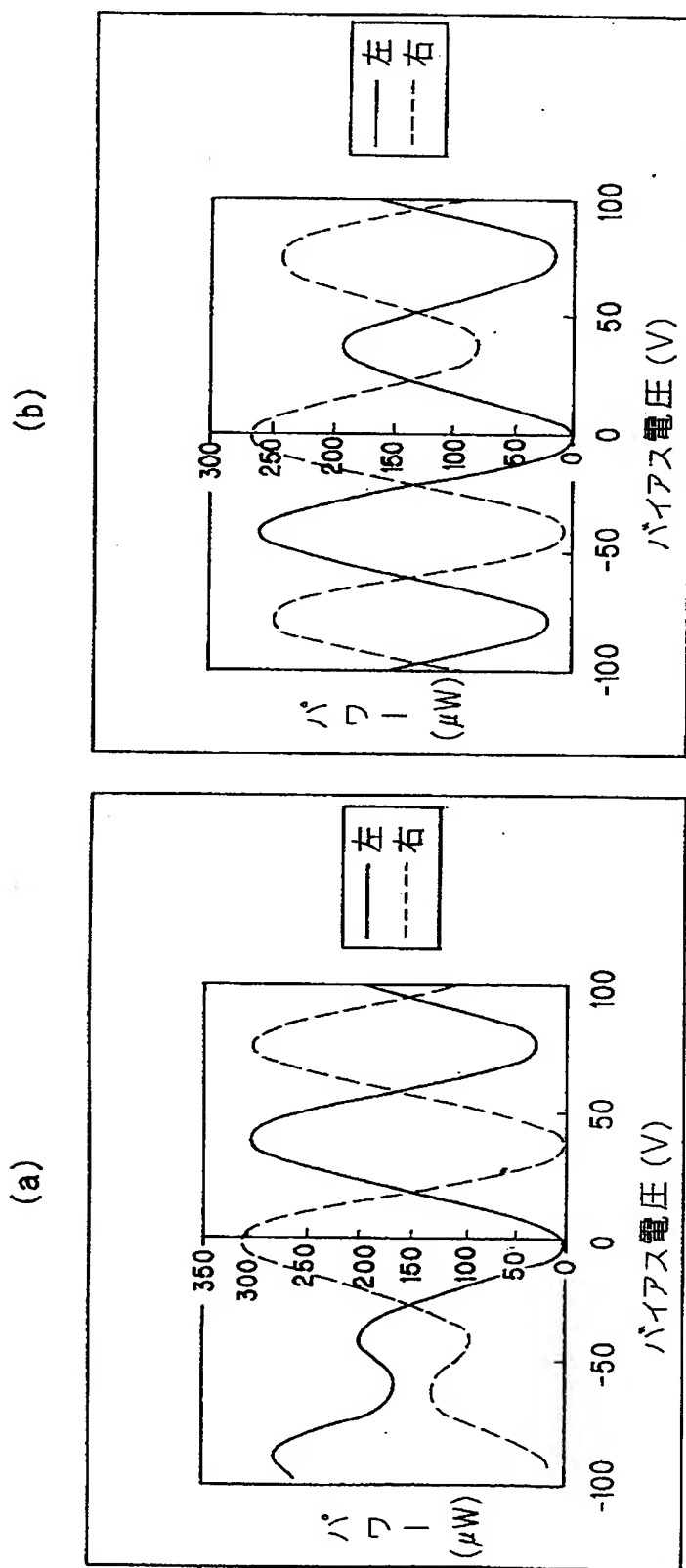
電極に電圧を加えないとき

(a)

【図4】



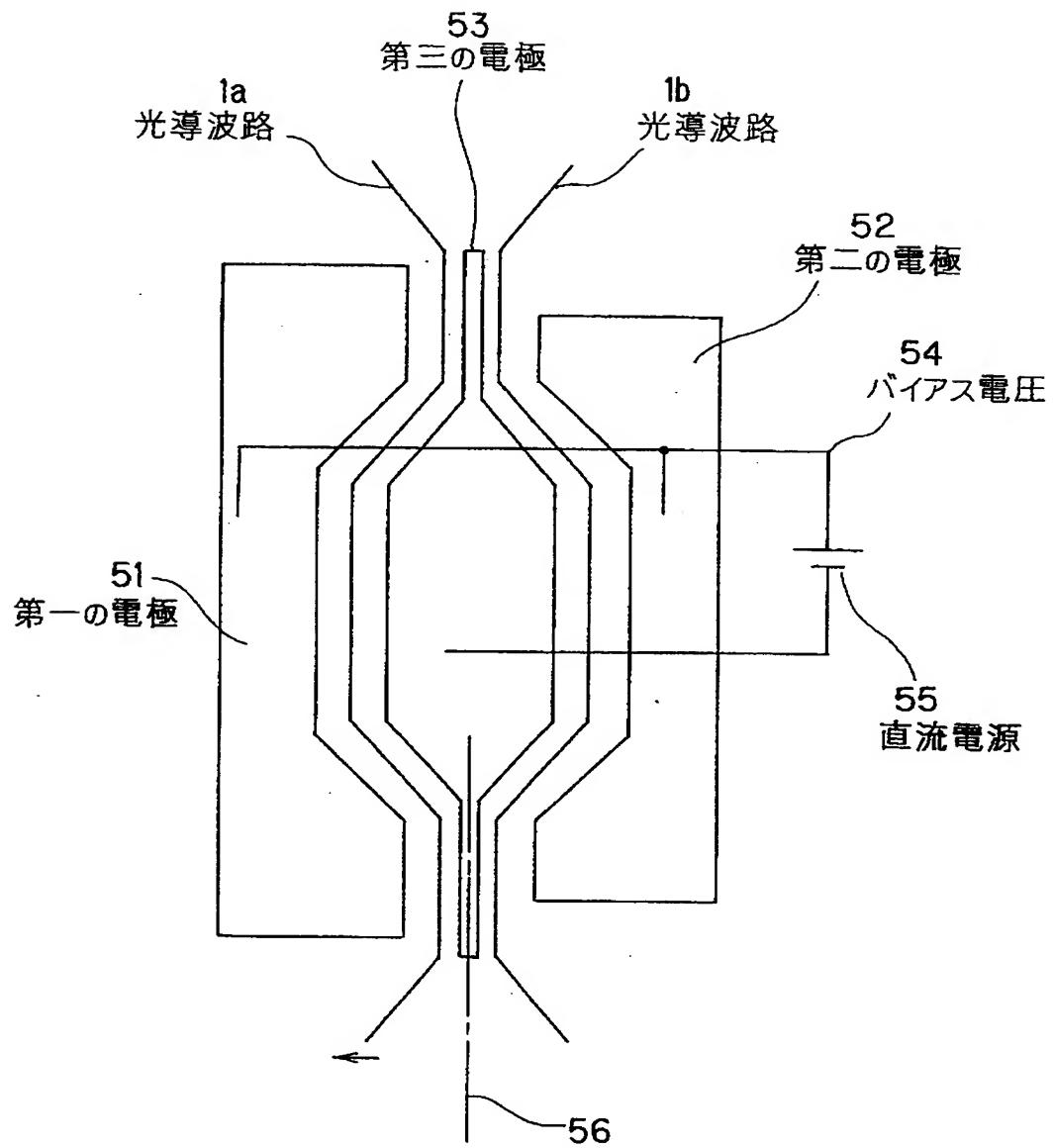
【図5】



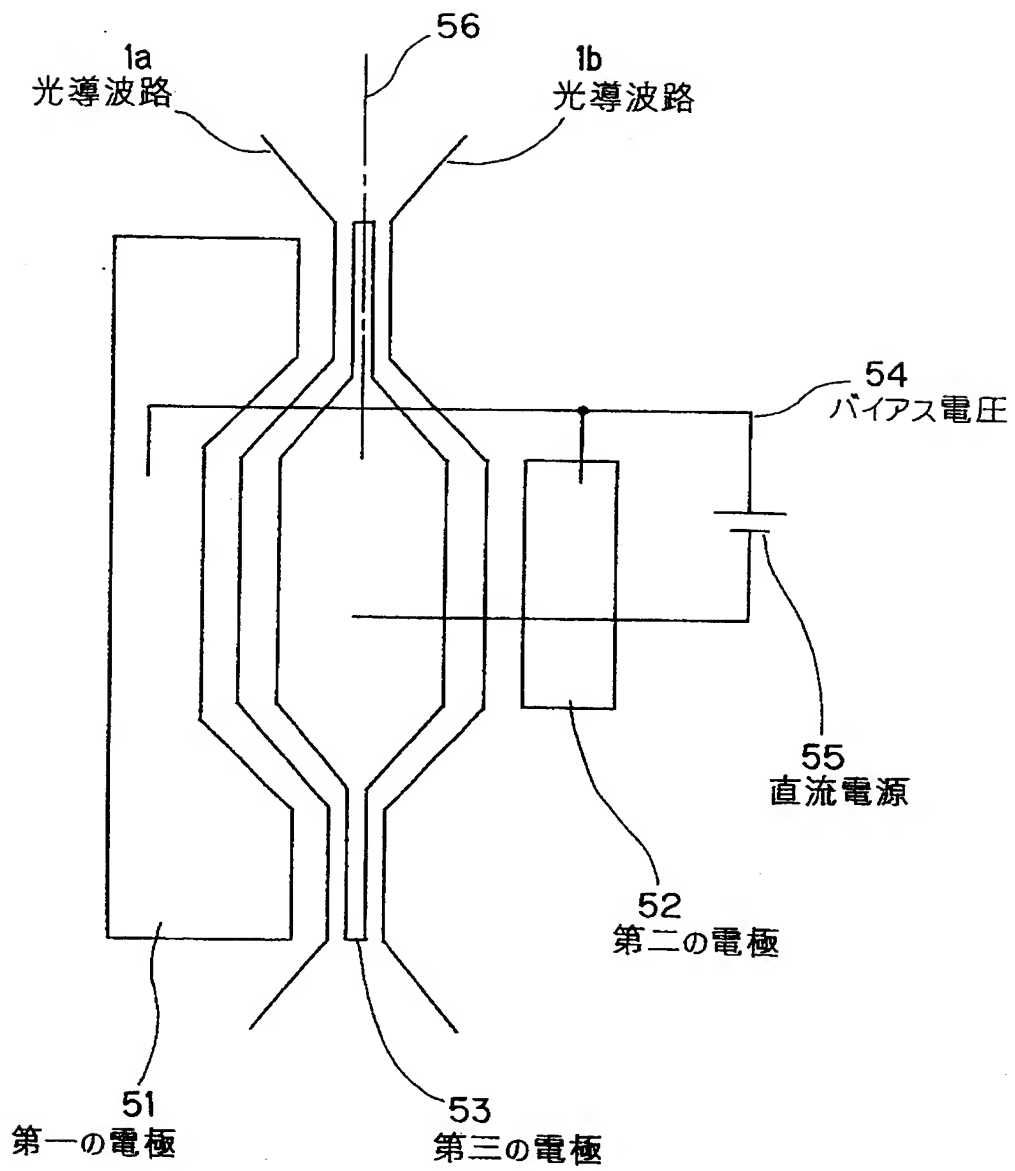
電極を左方向にずらした場合

電極を右方向にずらした場合

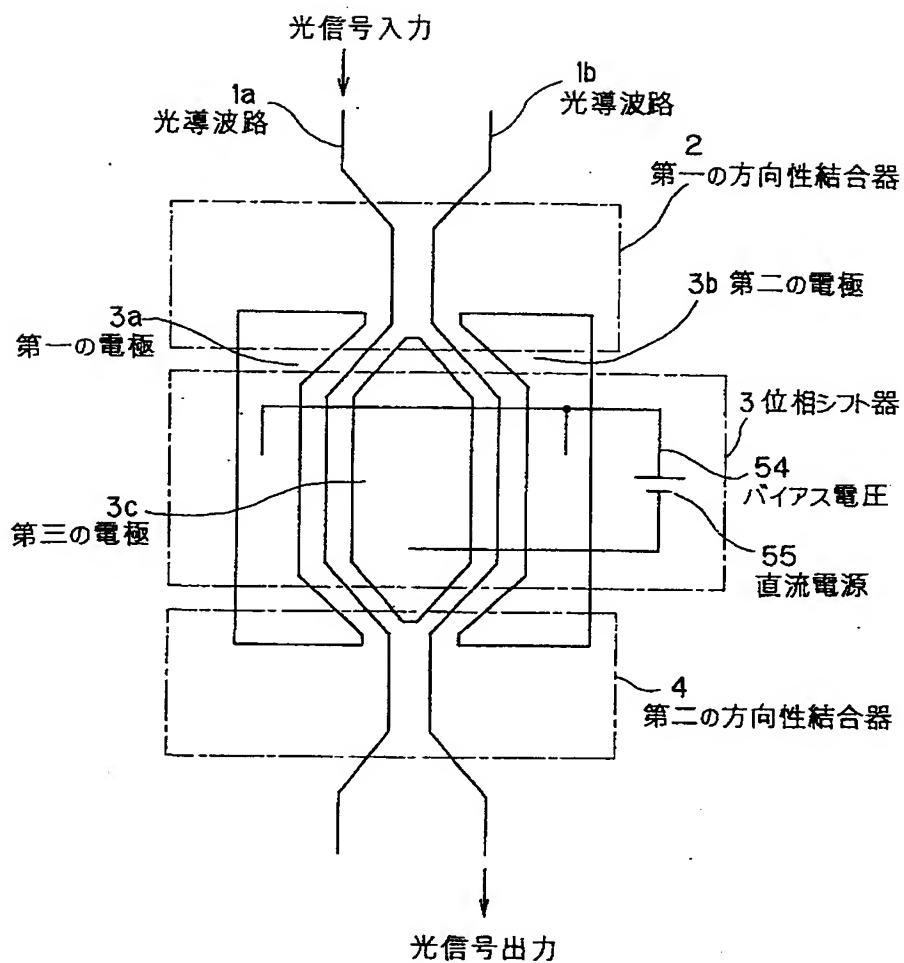
【図 6】



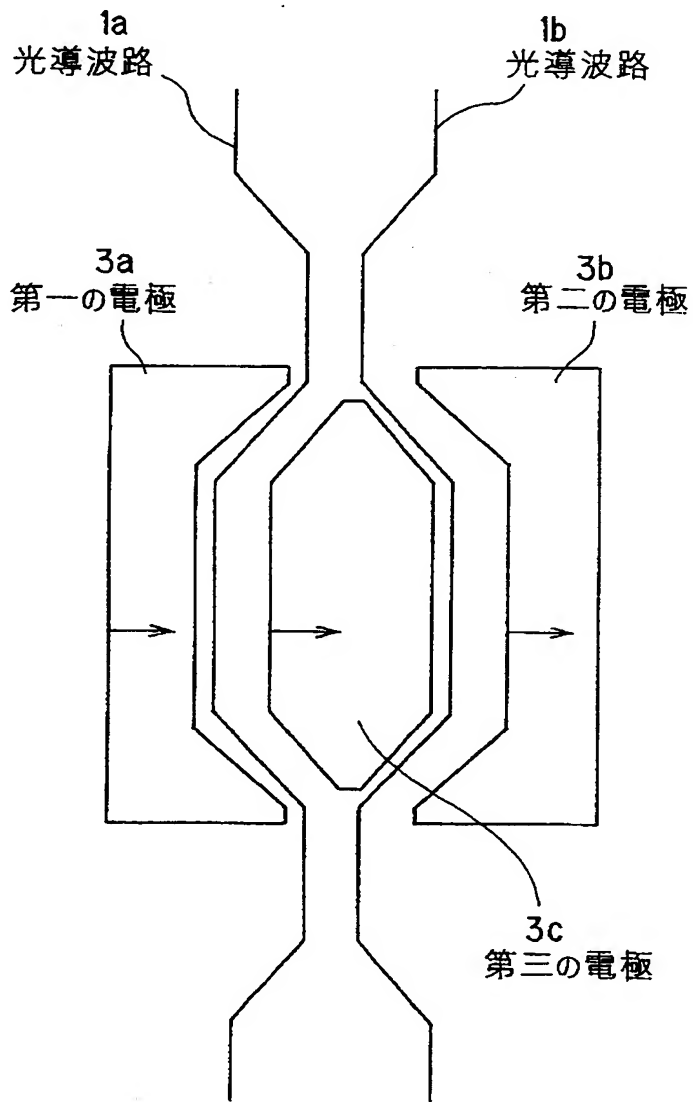
【図7】



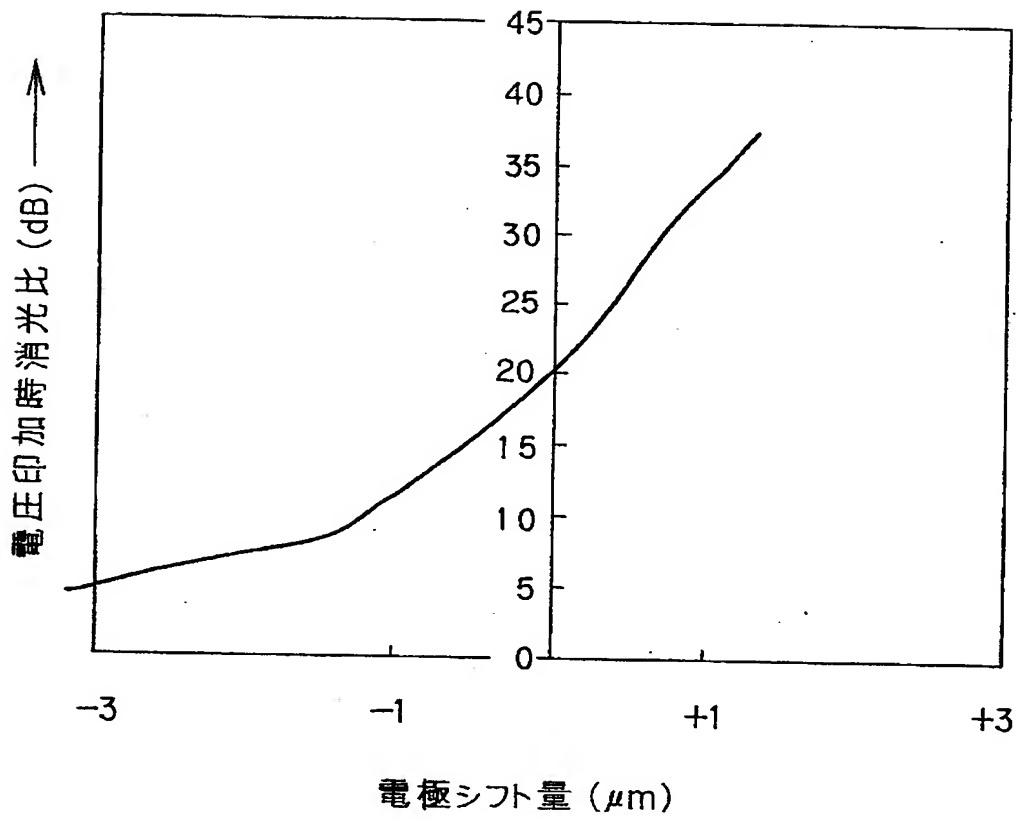
【図 8】



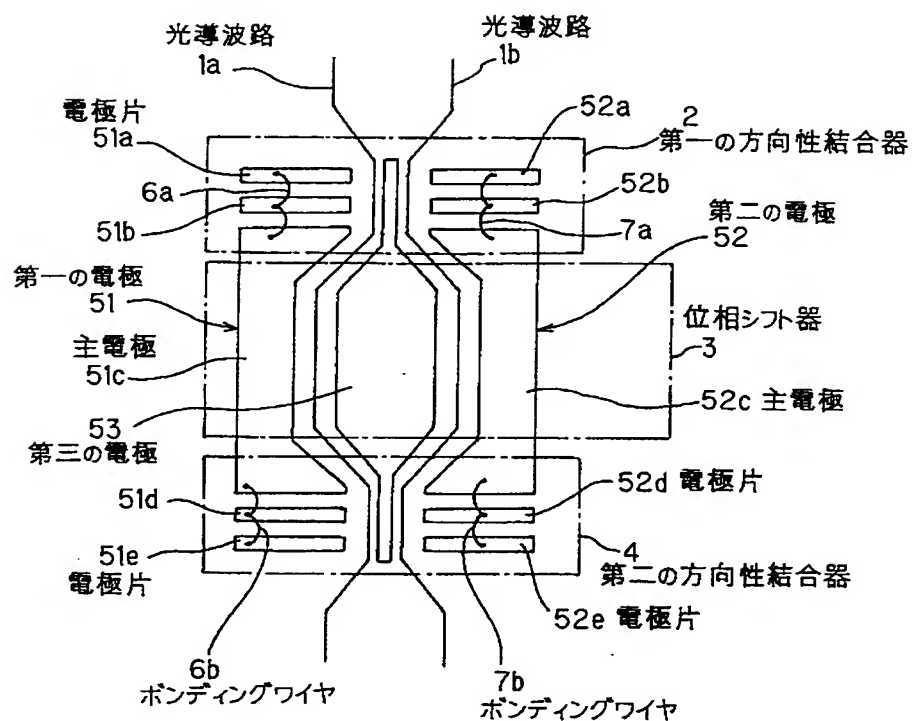
【図9】



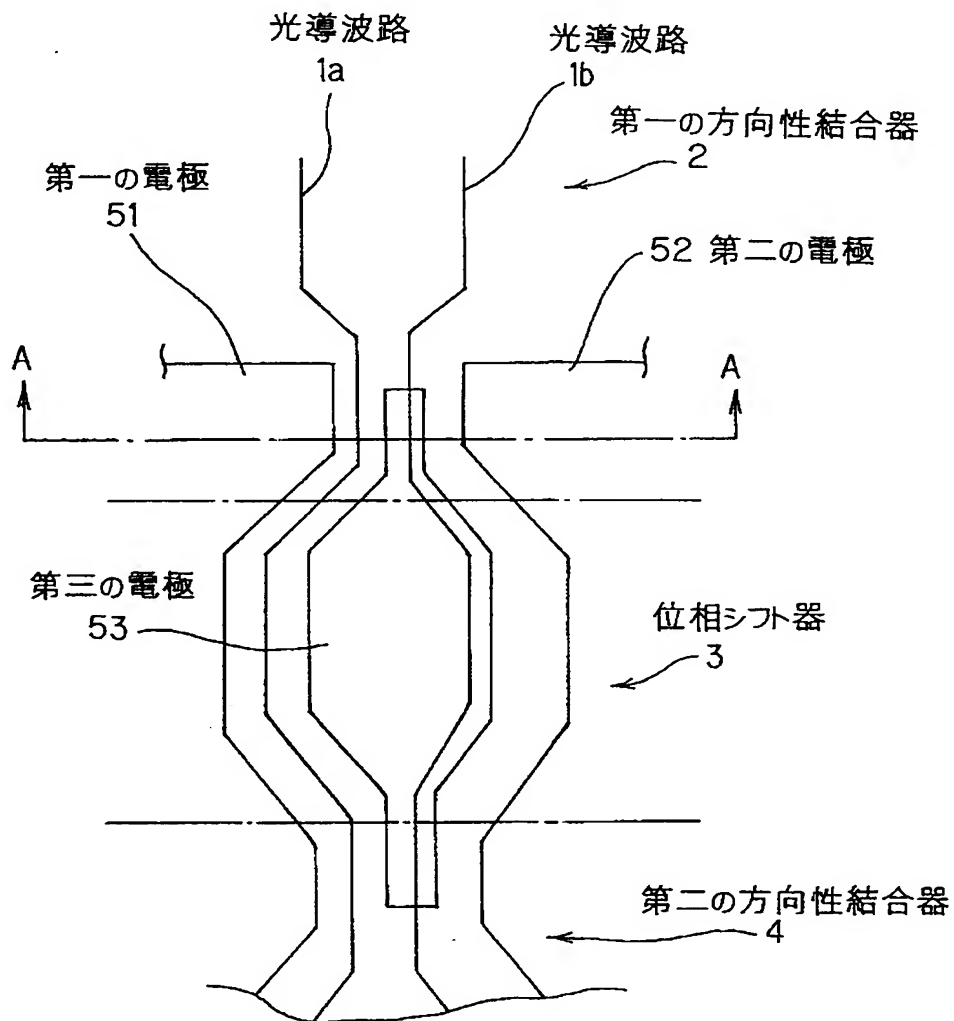
【図10】



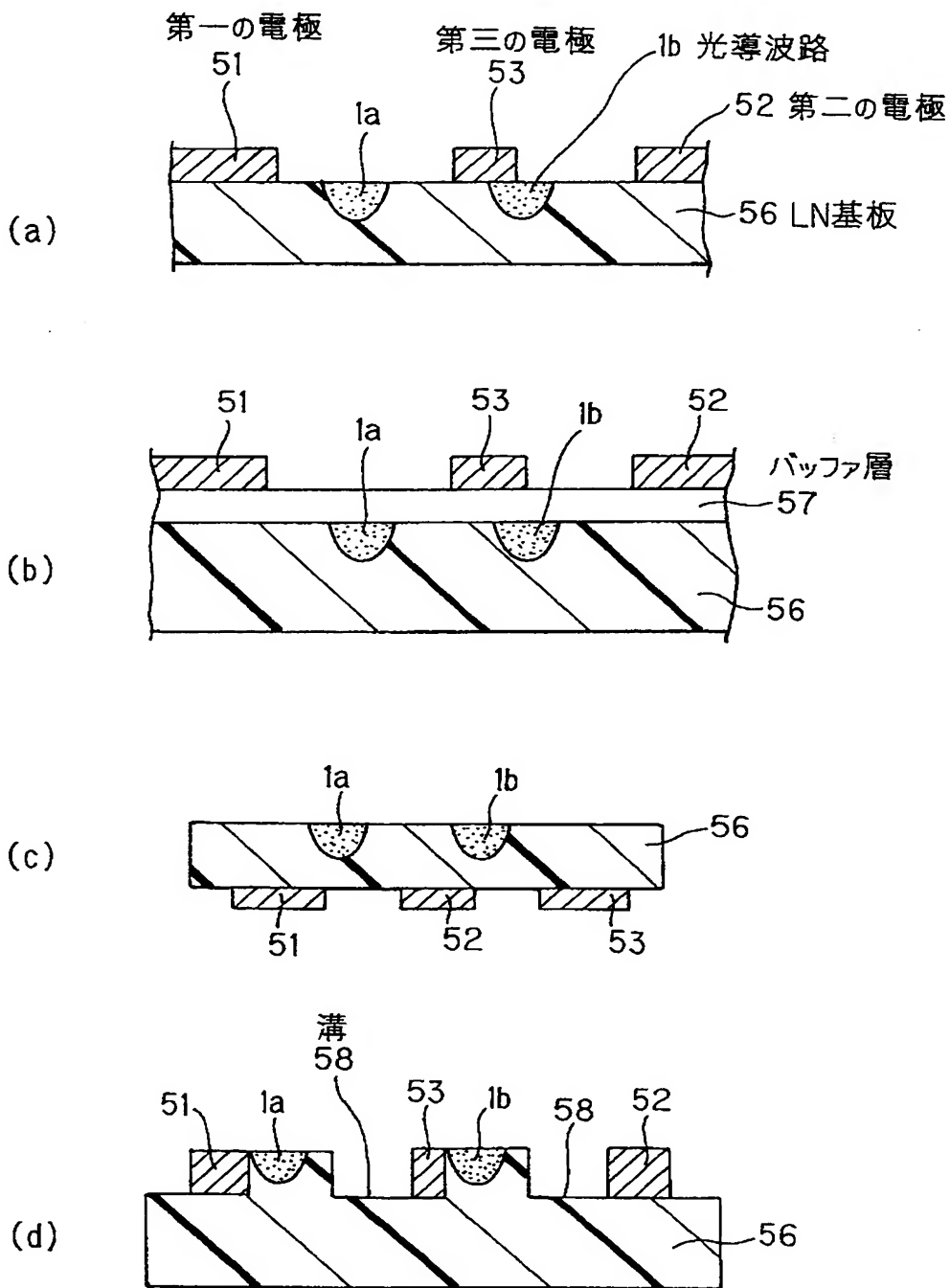
【図 11】



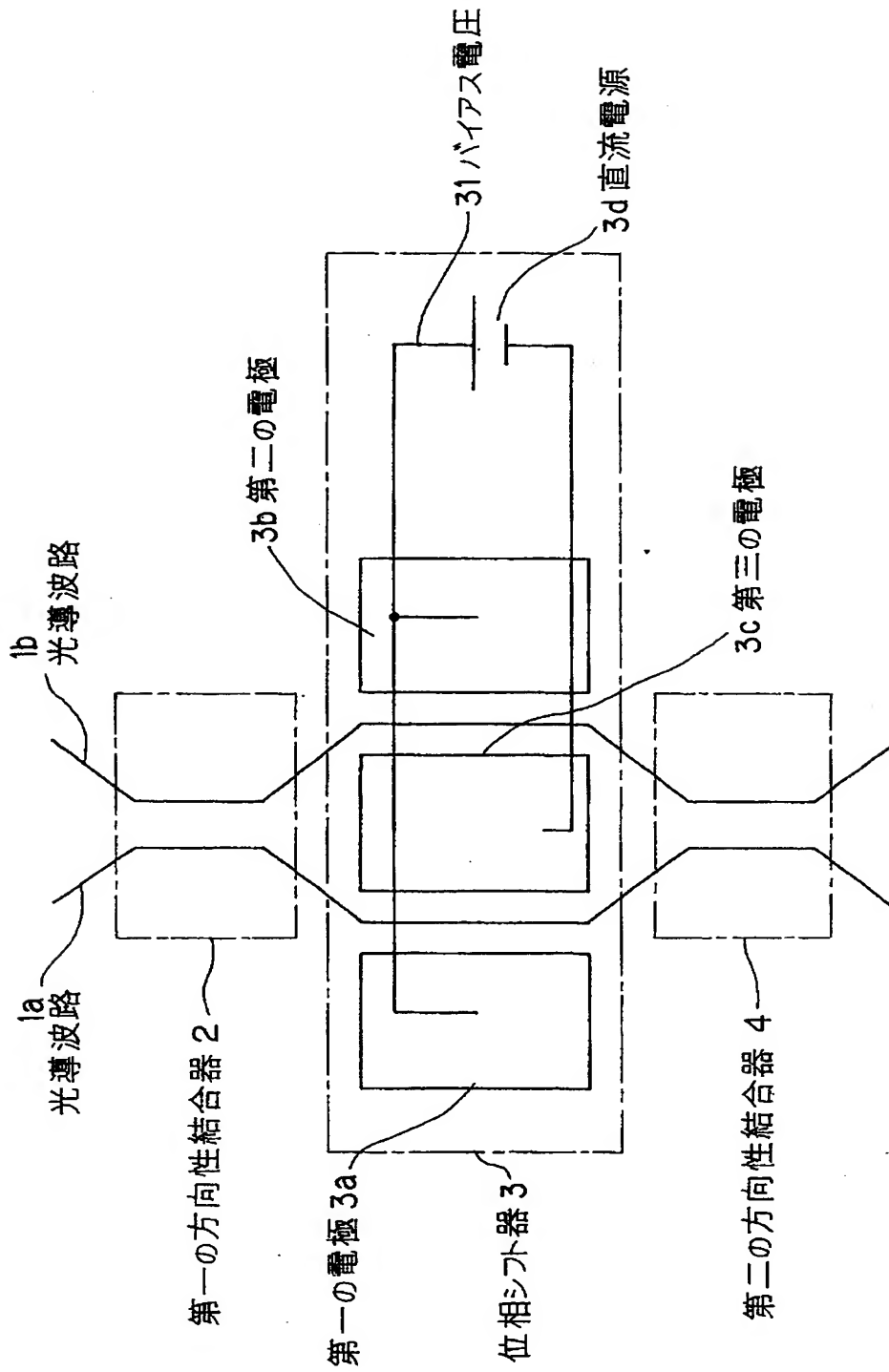
【図 1 2】



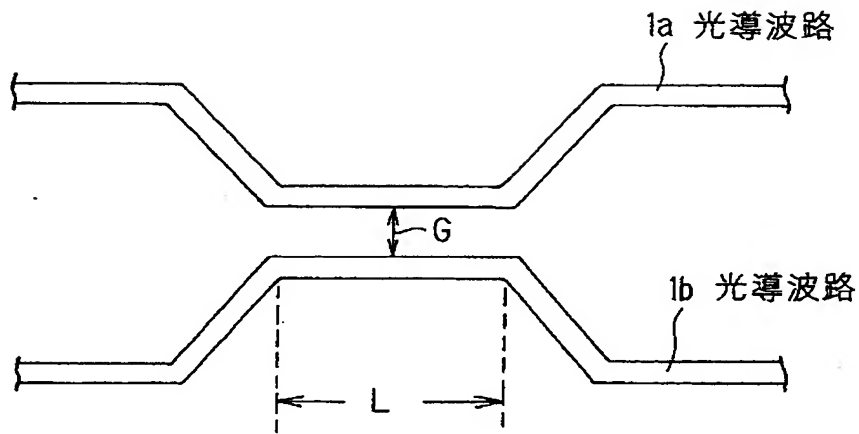
【図13】



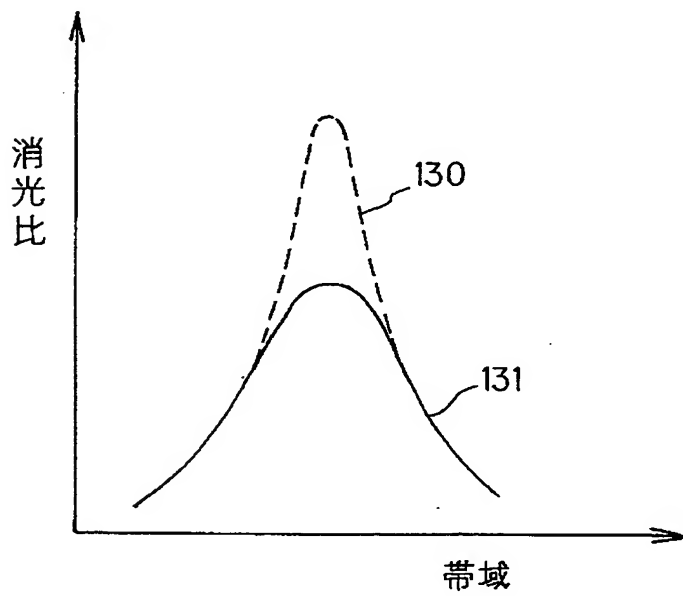
【図14】



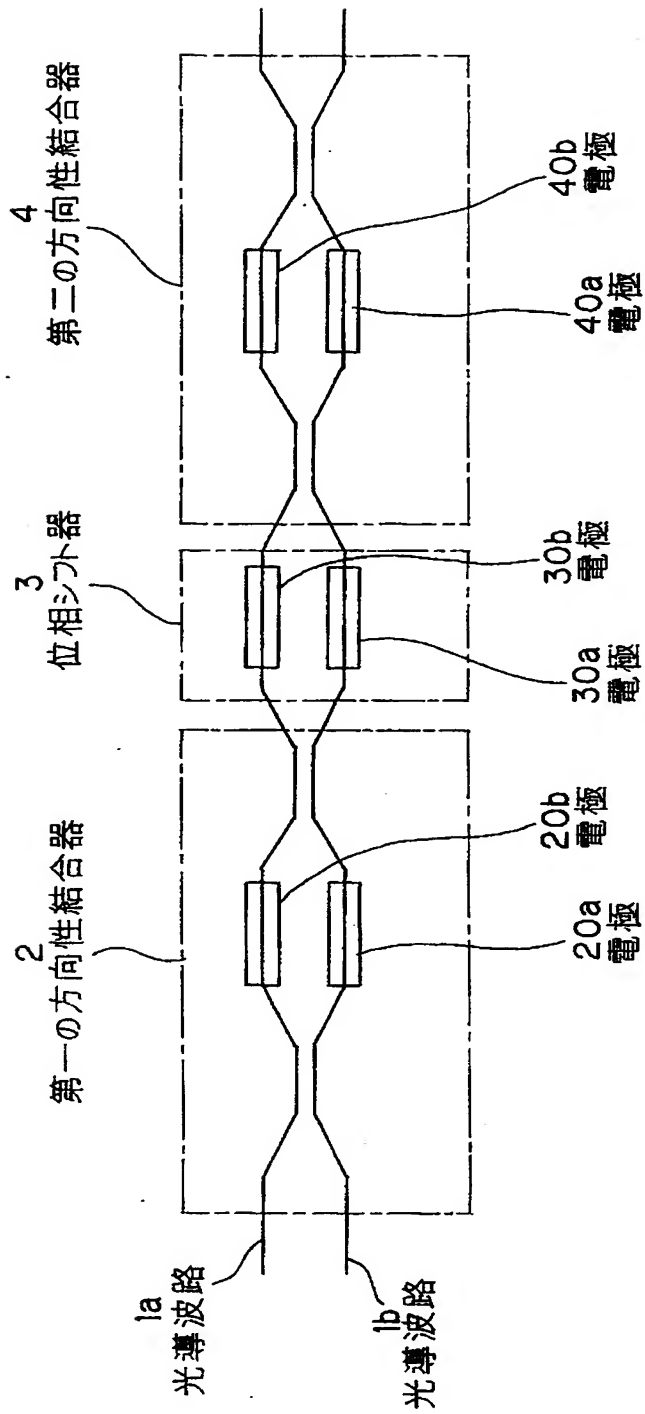
【図 15】



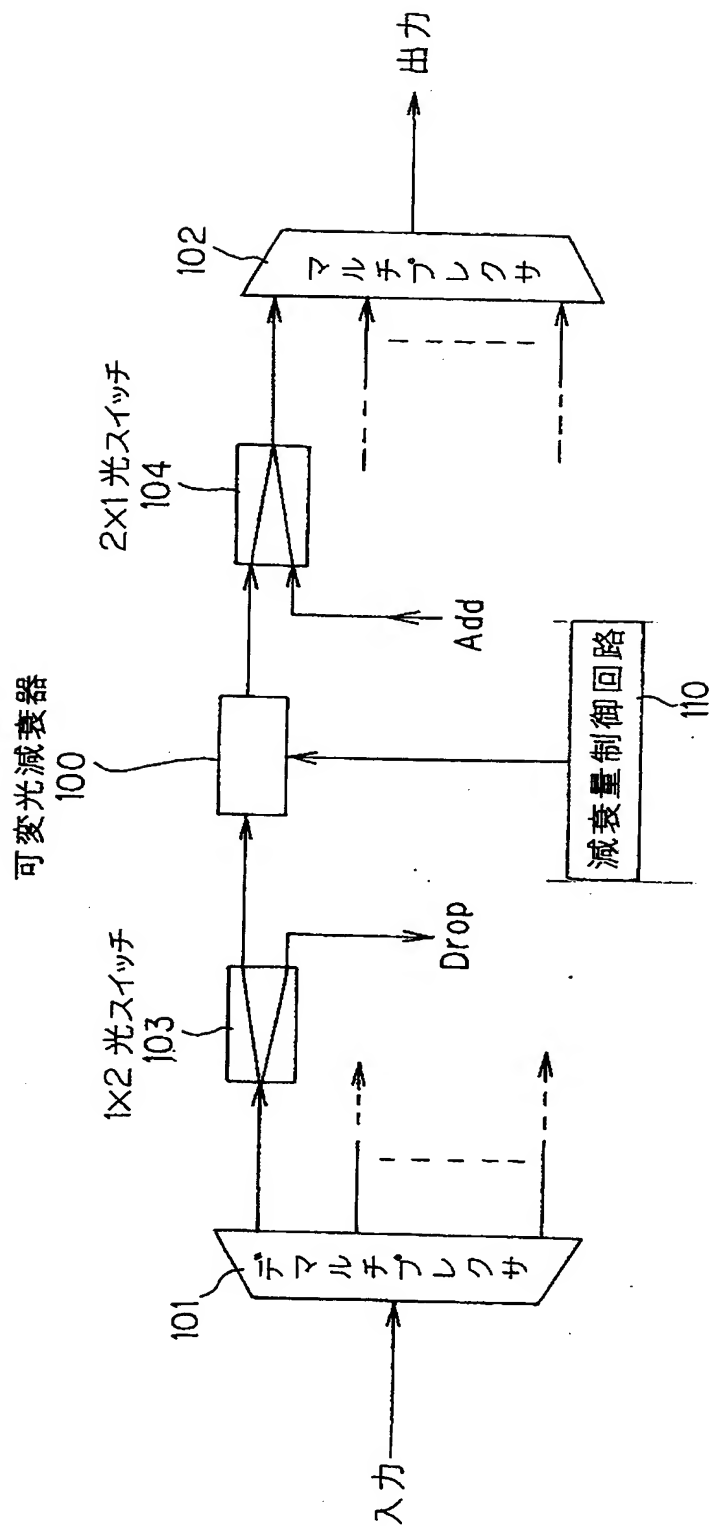
【図 16】



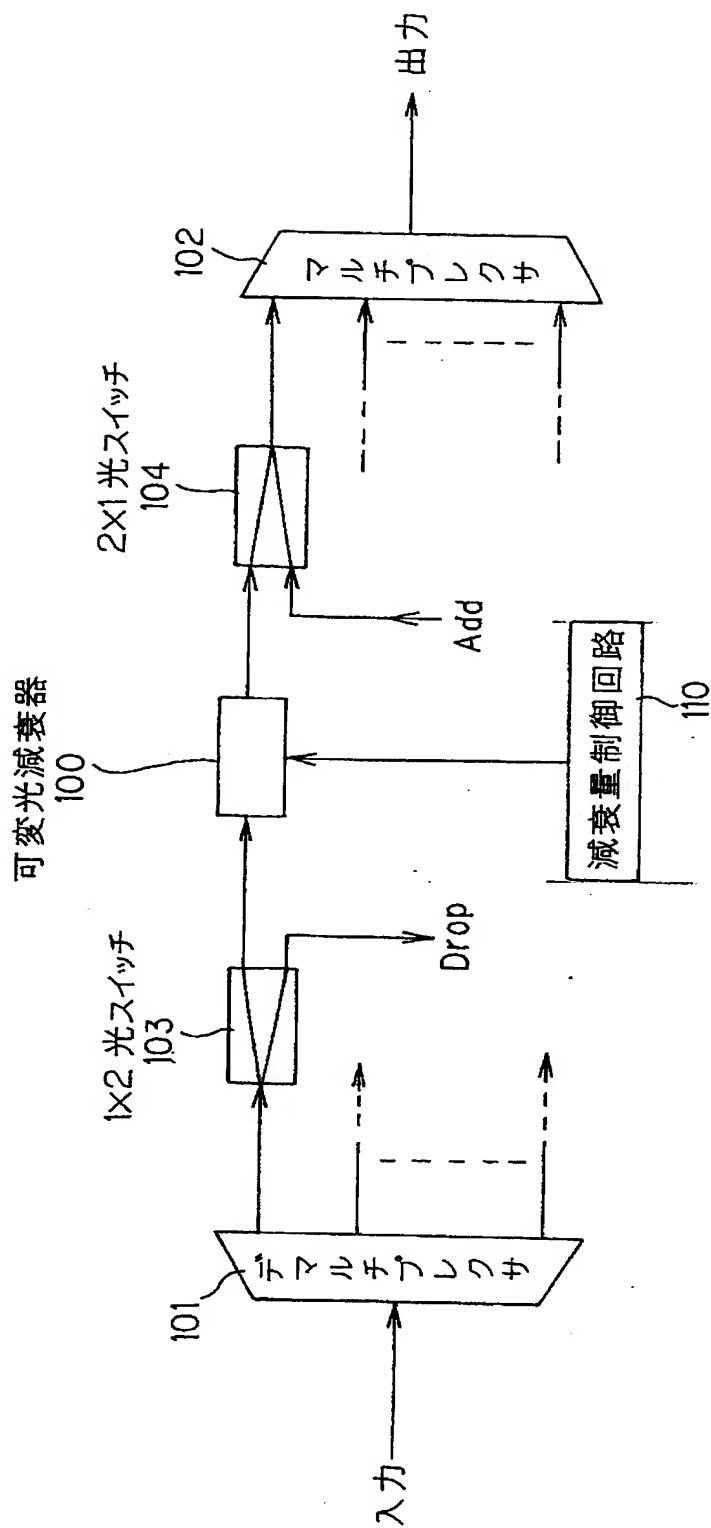
【図 17】



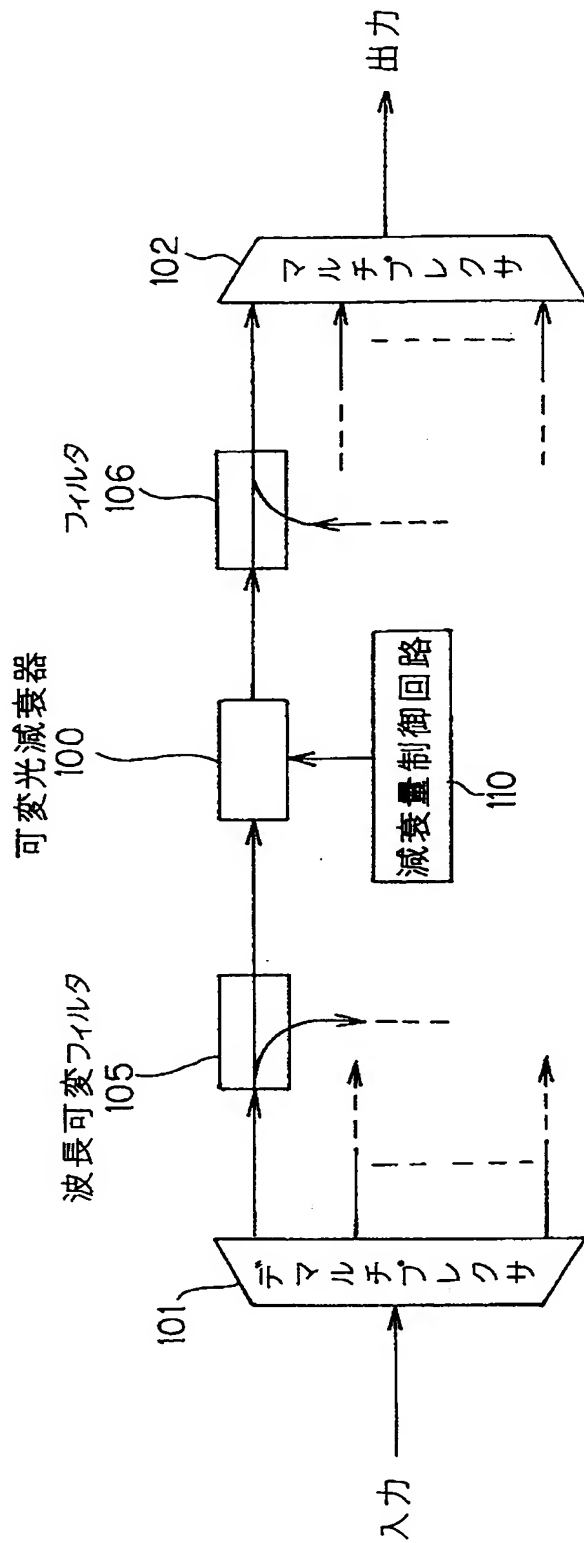
【図18】



【図19】



【図20】



特 2 0 0 1 - 0 8 1 1 8 3

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 構成を複雑化することなく消光比やダイナミックレンジの改善、及び小型化を図ることのできる導波路型光制御デバイスを提供する。

【解決手段】 第一の方向性結合器 2、位相シフト器 3、第二の方向性結合器 4 のそれぞれを通り抜け、かつ第一の方向性結合器 2 及び第二の方向性結合器 4 の部分で方向性結合器が形成されるように光導波路 1 a, 1 b が配線され、これらの間に第三の電極 5 3 が設けられ、光導波路 1 a, 1 b の両側には第一の電極 5 1 と第二の電極 5 2 が設けられている。これら電極は、第一の方向性結合器 2, 4 内の所定位置まで及んでいる。バイアス電圧 5 4 が電極 5 1, 5 2 と電極 5 3 の間に印加されると、単一のバイアス電圧により、位相シフト器 3 のほか、同時に方向性結合器 2 と方向性結合器 4 に電界が付与される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名 日本電気株式会社